

Universidad Pública de Navarra

Nafarroako Unibertsitate Publikoa

**ESCUELA TECNICA SUPERIOR
DE INGENIEROS AGRONOMOS**

***NEKAZARITZAKO INGENIARIEN
GOI MAILAKO ESKOLA TEKNIKOA***

EVALUACIÓN DEL ALCANCE DE LAS INUNDACIONES DE ABRIL DE 2018 EN NAVARRA.

presentado por

NEREA RODRÍGUEZ FERNÁNDEZ
- (e)*k*

aurkeztua

GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO RURAL
GRADUA NEKAZARITZAKO ELIKAGAIEN ETA LANDA INGURUNEAREN INGENIARITZAN

Junio, 2019 / 2019ko, ekaina

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, me gustaría dar las gracias a mi tutor Jesús Álvarez, por su orientación, disponibilidad y seguimiento, ya que sin su ayuda no habría sido posible la realización de este trabajo.

A mis compañeras de clase, por hacer más ameno el paso por la universidad y ayudarme siempre que lo he necesitado.

A mis padres y a Roberto, por todo el apoyo recibido durante estos años, tanto emocional como económico, por animarme hace años a seguir estudiando, y por confiar en mí desde el primer momento, aunque estas líneas no sean suficientes para expresar el enorme agradecimiento que siento por todo lo que han hecho por mí. Gracias también a Raúl por escucharme siempre, por la enorme paciencia en mis momentos de agobio y por tener siempre las palabras necesarias para animarme. Este trabajo es tan vuestro como mío.

A todos los que habéis hecho posible que esto se cumpla, muchas gracias.

RESUMEN

A mediados de abril de 2018 en Navarra, se produjeron unas inundaciones que afectaron a gran parte de la Comunidad Foral, especialmente a tierras agrícolas de la zona centro y sur. Eventos de este tipo producen afecciones y daños cuyo alcance resulta difícil de estimar y predecir. A día de hoy existen estudios de inundabilidad que incluyen cartografía de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación, para distintas probabilidades de ocurrencia o periodos de retorno. Estos mapas permiten posteriormente, definir los objetivos de protección, y los programas de medidas y actuaciones, que tienen que llevarse a cabo por parte de las administraciones públicas, ante avisos de ocurrencia de inundaciones. Un primer objetivo de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es evaluar el grado de ajuste entre el mapa de peligrosidad de inundación existente para Navarra y la lámina de inundación real delimitada en abril de 2018 mediante teledetección. Esta evaluación se completará con un análisis estadístico de los caudales y de las precipitaciones, con el fin de comprender los factores que generaron la inundación y valorar su magnitud. En segundo lugar, en este TFG también va a realizarse una estimación de las pérdidas económicas que supusieron los daños a los cultivos en las superficies agrícolas afectadas.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la primera parte del estudio, se puede concluir que no hay un buen ajuste entre el mapa de peligrosidad y la inundación ocurrida. En cuanto a los factores que generaron la inundación, se concluye que la causa principal de las inundaciones fueron las lluvias persistentes e intensas durante los días 6 y 13 de abril en las subcuencas de los ríos Ega, Arga, Cidacos y Aragón. Por otro lado, la estimación económica de los daños indica que se produjeron daños económicos en superficies de cultivos valorados en aproximadamente 8 millones de €.

Palabras clave: inundaciones, SIG, peligrosidad, periodo de retorno, daños.

ABSTRACT

In mid-April 2018, there were some floods that affected Navarre, to a large proportion of the Foral Community, especially agricultural lands in the central and south zones of the province. This type of Events results in diseases and damages whose consequences are very difficult to estimate and predict. Nowadays there are studies of inundability which includes the cartography of the Potential Significant Flood Risk Areas, for different probabilities of occurrence or return periods. These maps allow thereafter to define the objectives of protection and the action plan, which have to be carried out by the public administrations, in case of warnings of flood occurrences. One of the objectives of this final degree project is to evaluate the level of adjustment between the flood hazard map from Navarra and the real flood sheet delimited in April 2018 through remote sensing. This evaluation will be completed with statistical analysis of flow rates and precipitations, with the purpose of understand the factors which generated the flood and assess its magnitude. In the second part of this final degree project also it will be done an economical estimate of the damages in crops on the agricultural surfaces affected by the flood.

According to the results of the first part of the study, it can conclude that between the map of hazard and the flood, it doesn't exist an appropriate level of adjustment. Regarding the factors that generated the flood, it might conclude that the main cause of the floods were the persistent and heavy rains during the 6th and 13th of April in the sub-basins of the Ega, Arga, Cidacos and Aragón rivers. Furthermore, the economical estimate of damages indicates that the damages on crops areas was approximately eight (8) million €.

Key words: floods, GIS, hazard, return period, damages

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	1
ÍNDICE DE TABLAS	2
LISTA DE ABREVIATURAS	4
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	5
Objetivos	8
2. MATERIALES Y MÉTODOS	9
2.1. Localización del área de estudio	9
2.2. Inundaciones de abril de 2018 en Navarra	10
2.3. Evaluación del ajuste del mapa de inundabilidad y la inundación real ..	11
2.3.1. Periodos de retorno:	11
2.3.2. Análisis de la superficie inundada:	12
2.3.3. Análisis de frecuencias	16
2.3.4. División en tramos dentro del área de estudio	18
2.4. Valoración económica de los daños:	19
2.4.1. Cálculo de superficies	19
2.4.2. Cálculo de producciones	19
2.4.3. Estimación de pérdidas económicas	20
3. RESULTADOS	21
3.1. Evaluación del ajuste del mapa de inundabilidad y la inundación real ..	21
3.1.1. Discusión	33
3.2. Valoración económica de los daños:	34
3.2.1. Discusión	37
4. CONCLUSIONES	38
5. REFERENCIAS	39
ANEXO I	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de desastres según el peligro natural que los origina (UNISDR, 2015)	5
Figura 2. Áreas de riesgo potencial significativo de inundación en la península, Ceuta, Melilla y Baleares (MITECO, 2015).	7
Figura 3. Localización de Navarra en España.	9
Figura 4. Red hidrográfica de Navarra, divisoria de aguas y principales cuencas hidrográficas (Gobierno de Navarra, 2019b).	9
Figura 5. Temperaturas y precipitaciones de Navarra en abril de 2018 (AEMET, 2018b).	10
Figura 6. Zonas inundables para diferentes T (IDENA, 2019).....	13
Figura 7. Área teórica inundada para cada T.	13
Figura 8. Zonas inundadas entre los días 11-14 de abril de 2018 (SITNA, 2018).	15
Figura 9. Relación entre A_r y A_t para diferentes periodos de retorno.....	15
Figura 10. División del área de estudio en tramos.....	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Escenarios del mapa de peligrosidad de inundación (MITECO, 2019).....	7
Tabla 2. Información de los tramos de estudio.	18
Tabla 3. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Ebro en Mendavia. (SAIH Ebro, 2019).....	21
Tabla 4. Área inundable y área real inundada del tramo 1 para diferentes T.	21
Tabla 5. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Sesma	22
Tabla 6. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Ega en Andosilla. (SAIH Ebro, 2019)	22
Tabla 7. Área inundable y área real inundada del tramo 2 para diferentes T.	23
Tabla 8. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Andosilla	23
Tabla 9. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Ebro en Castejón. (SAIH Ebro, 2019).....	24
Tabla 10. Área inundable y área real inundada del tramo 3 para diferentes T	24
Tabla 11. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Cadreita	25
Tabla 12. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Ebro en Tudela. (SAIH Ebro, 2019)	25
Tabla 13. Área inundable y área real inundada del tramo 4 para diferentes T	26
Tabla 14. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Tudela.	26
Tabla 15. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Arga en Etxauri. (SAIH Ebro, 2019).	27
Tabla 16. Área inundable y área real inundada del tramo 5 para diferentes T.	27
Tabla 17. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Pamplona.....	28
Tabla 18. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Arga en Funes. (SAIH Ebro, 2019)	28
Tabla 19. Área inundable y área real inundada del tramo 6 para diferentes T.	29
Tabla 20. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias para la estación pluviométrica de Falces	29
Tabla 21. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Cidacos en Olite. (SAIH Ebro, 2019)	30
Tabla 22. Área inundable y área real inundada del tramo 7 para diferentes T.	30
Tabla 23. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Olite.....	31
Tabla 24. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Aragón en Caparroso. (SAIH Ebro, 2019).....	31
Tabla 25. Área inundable y área real inundada del tramo 8 para diferentes T.	32
Tabla 26. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Caparroso.	32
Tabla 27. Superficies (Ha) y % de los principales cultivos afectado por la inundación.	34
Tabla 28. Superficies (ha) según grupo de cultivo de los principales cultivos afectados.	35
Tabla 29. Producciones totales afectadas (t) de los principales cultivos.	35

Tabla 30. Mermas en la producción (t) de los principales cultivos afectados.	36
Tabla 31. Pérdidas económicas (€) de los principales cultivos afectados	36

LISTA DE ABREVIATURAS

- At:** Área teórica de inundación (km^2). Es la superficie inundable del mapa de inundabilidad de Navarra.
- Ar:** Área real inundada (km^2). Es la superficie inundada en abril de 2018 en Navarra. Obtenida de la “Delimitación de las zonas inundadas en Navarra a partir de la utilización de imágenes Sentinel disponibles para los días 11-14 de abril de 2018”.
- $Ar \cap At$:** Coincidencia entre la superficie inundable y la superficie inundada (km^2). Obtenida de la intersección entre el mapa de inundabilidad y el mapa de la delimitación de la inundación real.
- $At > Ar$:** Superficie inundable no ocupada por la inundación real (km^2).
- $Ar > At$:** Área real inundada que no queda representada en el mapa de inundabilidad (km^2).
- Q_{\max} :** Caudal máximo en abril de 2018 para las distintas estaciones de aforo de Navarra (m^3/s).
- Q_T :** Caudales de crecida asociados a periodos de retorno (m^3/s).
- P_{\max} :** Precipitación máxima diaria en abril de 2018 para las distintas estaciones pluviométricas de Navarra (mm).
- P_m :** Precipitación máxima diaria de las series históricas de las distintas estaciones pluviométricas (mm).
- P_{m_T} :** Precipitaciones máximas diarias asociadas a periodos de retorno (mm).

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Tanto a nivel global como en España, las inundaciones son el desastre que más pérdidas económicas y víctimas produce. Según United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNISDR, 2015), en la veintena del año 1995 al 2015 a nivel global, las inundaciones representaron el 47% del total de desastres climáticos, afectando a 2300 millones de personas, entre los cuales el 95% vive en Asia. En España se estima que en los últimos 30 años las inundaciones han dejado 300 muertes, y suponen un coste anual de 500 millones de € (Dirección General de Protección Civil y Emergencias, 2019).

Los efectos de las inundaciones son también relevantes en la agricultura, donde las tierras agrícolas anegadas imposibilitan las labores de siembra cosecha y transporte. Además, el exceso de agua en el suelo en periodos prolongados de tiempo provoca un estrés en las plantas que puede incluso terminar con la muerte de estas. Según datos de un informe emitido por Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2015), los cultivos son el subsector de la agricultura más afectado por los peligros naturales. Durante los años 2003-2013, los daños a los cultivos han supuesto una pérdida de 13.000 millones de \$, entre los fenómenos que causan dichos daños, destacan las inundaciones, que han provocado el 56% de los daños totales en cultivos, a las inundaciones le siguen las tormentas con un 22,8%.

Los desastres naturales son eventos (o fenómenos) extremos, que se producen en alguno de los sistemas de la tierra (Litosfera, Hidrosfera, Biosfera o Atmósfera), y que difieren sustancialmente de su comportamiento medio provocando afecciones serias a modo de daños en bienes materiales como edificios, infraestructuras, zonas agrícolas etc. e incluso daños en personas y vidas humanas (Van Westen, 2000). De esta manera se entiende que, aunque tenga lugar un fenómeno natural no tiene por qué producirse el desastre. En la figura 1 se muestra la clasificación de desastres según el tipo de peligro natural que los origina. Los desastres climáticos engloban a los hidrológicos, meteorológicos y climatológicos.



Figura 1. Clasificación de desastres según el peligro natural que los origina (UNISDR, 2015)

El concepto de riesgo de desastre engloba tres términos: peligrosidad, exposición y vulnerabilidad. Se entiende como peligrosidad a la probabilidad de ocurrencia de un evento extremo con capacidad de destrucción en un intervalo de tiempo y área determinada (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya [ICGC], 2009). La exposición se refiere a la existencia de población, viviendas, actividad económica, estructuras o servicios situados en áreas en las cuales pueden producirse eventos naturales extremos. Por último, la vulnerabilidad se define como el grado de susceptibilidad de una comunidad de verse afectado de forma negativa por un fenómeno natural, es decir, la incapacidad de resistir a dichos fenómenos (UNISDR, 2004; Intergovernmental Panel on Climate Change [IPCC], 2012).

Los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas que permiten trabajar con información georreferenciada, de manera que es posible la lectura, manipulación, almacenamiento y análisis de los datos espaciales, así como la generación de cartografía, como puede ser la elaboración de mapas de diferente tipología. La información georreferenciada consta de dos componentes: la temática, la cual se refiere al valor en sí de los datos y la espacial, que contiene la información relativa a la posición que ocupa cada valor de la componente temática, en el espacio (Olaya, 2014).

La teledetección no es sinónimo de SIG, sino que es una herramienta de obtención de información espacial, y por lo tanto es una fuente de datos para los SIG (Red Nacional de Teledetección Ambiental [RNTA], 2010). La teledetección se compone de tres elementos principales: el objeto el cual se quiere visualizar, el instrumento con el que se observa el objeto y una plataforma que permita sujetar el instrumento (European Space Agency [ESA], 2009). En la teledetección, el programa Copernicus ha supuesto un gran avance. Se trata de una iniciativa de la Comisión Europea y de la ESA, que nace con el objetivo de distribuir información georreferenciada que contribuya a la mejora del cuidado del medio ambiente, la seguridad ciudadana y la mitigación de los efectos provocados por el cambio climático. La información es recogida por una serie de satélites, conocidos como Sentinel. Posteriormente dicha información se proporciona a los usuarios de manera libre y gratuita (ESA, 2019).

Por lo tanto, la teledetección y los SIG son herramientas esenciales para la gestión de los riesgos naturales, ya que contribuyen en tareas de prevención, preparación y recuperación. En cuanto a la etapa anterior al desastre, las tareas de evaluación del riesgo, tales como, la elaboración de la cartografía de áreas con alto riesgo de desastres, y la generación de sistemas de alerta temprana, hacen posible la prevención y la preparación de los desastres. Durante el desastre, es necesario el monitoreo del evento en tiempo real, a través del cual se proporciona información sobre el estado actual y previsiones futuras. Respecto a la etapa posterior al desastre, las herramientas se utilizan para la evaluación de los daños producidos, ayudando así a las actividades de recuperación (Van Westen, 2017).

En la línea de la temática expuesta anteriormente, en noviembre de 2007 la Comisión Europea (CE) aprobó la Directiva 2007/60 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, cuyo objetivo reside en el establecimiento de un marco común entre los Estados miembro, que permita reducir los efectos desfavorables de las inundaciones. En el año 2010 España transpuso la directiva anterior a su reglamento, a través del Real Decreto 903/2010 de evaluación y gestión de riesgos de inundación. La Directiva 2007/60 consta de tres fases, a continuación, se expone de manera resumida cada una de ellas:

1. Evaluación preliminar de los riesgos de inundación (EPRI):

A partir de información disponible, se realizan EPRI para cada demarcación hidrográfica, con el objetivo de delimitar aquellas Áreas para las cuales existe un Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs). Según los datos proporcionados por el Ministerio para la Transición Ecológica (MITECO, 2015), en España existen 1342 ARPSIs, en la figura 2 se muestra su distribución.

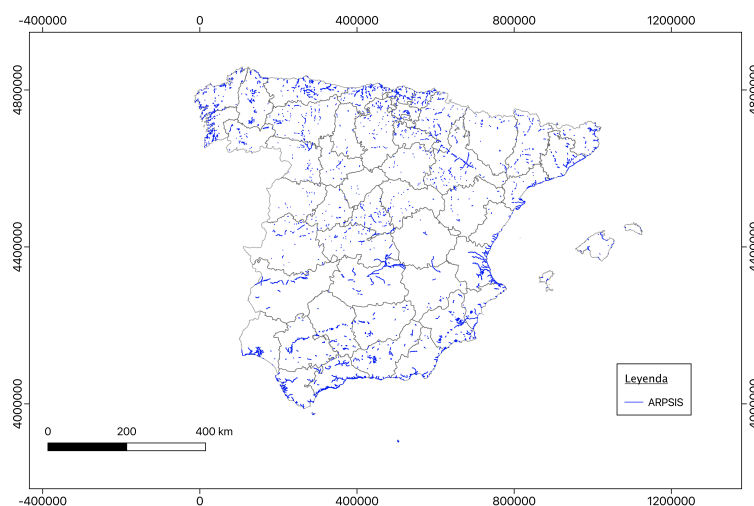


Figura 2. Áreas de riesgo potencial significativo de inundación en la península, Ceuta, Melilla y Baleares (MITECO, 2015).

2. Elaboración de los mapas de peligrosidad y de riesgo de inundaciones:

Un mapa de peligrosidad muestra para diferentes escenarios (Tabla 1), la cartografía de las zonas susceptibles de ser inundadas. En este tipo de mapas se representa el alcance de la lámina, el nivel y el caudal del agua para cada escenario.

Tabla 1. Escenarios del mapa de peligrosidad de inundación (MITECO, 2019)

Probabilidad	T (años)
Alta	10
Media u ocasional	100
Baja o excepcional	500

Por lo tanto, los mapas de peligrosidad reflejan las zonas inundables para diferentes probabilidades de ocurrencia.

En cuanto a los mapas de riesgo de inundación, en ellos queda reflejado para las zonas inundables de cada escenario indicado anteriormente, los daños que se pueden producir, en términos de: población afectada, actividad económica afectada, zonas vulnerables de causar daños al medio ambiente, y zonas protegidas (hábitats, captación de agua para consumo humano...).

3. Plan de gestión del riesgo de inundación (PGRI):

Se realizan teniendo como referencia la información contenida en los mapas mencionados en el apartado anterior. En los PGRI se establecen medidas para lograr la reducción de los impactos negativos que las inundaciones pueden provocar en la población, en el ecosistema, en los bienes culturales y en la actividad económica.

Objetivos

Este Trabajo Fin de Grado consta de dos partes, la primera trata de evaluar el nivel de ajuste del mapa de inundabilidad disponible en Navarra a una inundación real, en este caso a las inundaciones de Navarra en abril de 2018, y de realizar una interpretación de los procesos que originaron dichas inundaciones. Para la resolución de estos dos objetivos se llevan a cabo las siguientes labores:

- Comparar el ajuste de la lámina de inundación con la del área inundable.
- Analizar estadísticamente los datos de las precipitaciones y caudales máximos del evento.

Respecto a la segunda parte del trabajo, el objetivo es estimar las pérdidas económicas en tierras agrícolas que produjeron las inundaciones de estudio, para ello se efectuará una estimación de superficies y producciones afectadas para luego calcular los daños en términos económicos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización del área de estudio

El presente TFG se realiza sobre la Comunidad Foral de Navarra, territorio situado en el norte de España (Figura 3) que abarca una superficie de 10.391,08 km² (Gobierno de Navarra, 2019a). Navarra, consta de dos cuencas hidrográficas: la del Ebro, la cual ocupa el 90% de la superficie navarra, y la Cantábrica, que ocupa el 10% restante. El estudio se centra en la cuenca del Ebro, que a su vez se divide en diferentes subcuencas, siendo las más representativas la del Ega, la del Arga y la de Aragón. En la figura 4 se representa la red hidrográfica de Navarra.



Figura 3. Localización de Navarra en España.

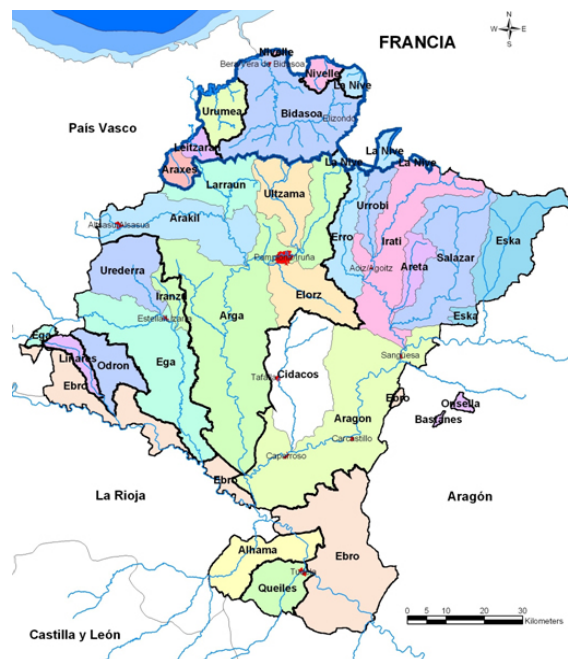


Figura 4. Red hidrográfica de Navarra, divisoria de aguas y principales cuencas hidrográficas (Gobierno de Navarra, 2019b).

2.2. Inundaciones de abril de 2018 en Navarra

Según la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2018a), el invierno de 2017-2018 tuvo un carácter extremadamente húmedo, superando los valores medios históricos. Fue después del invierno de 2012-2013 el más lluvioso desde que se dispone de registros. En marzo de 2018 se produjeron fuertes precipitaciones, principalmente en la cuenca del Ebro, destacando Cabanillas, donde el porcentaje de precipitación media de marzo de 2018 superó en un 253% los valores medios normales (1981-2010). Por otra parte, marzo, además de ser un mes extremadamente húmedo fue especialmente frío, lo que provocó que la nieve se acumulase en las cabeceras de los ríos (AEMET, 2018a; Meteo-Navarra, 2018).

A raíz de las significativas lluvias mencionadas anteriormente, los terrenos de la mitad norte de Navarra estaban saturados, con un porcentaje de humedad del suelo respecto a la capacidad máxima, de entre el 98 y el 100% (AEMET, 2018a). En abril, durante los días 6 y 13, tuvieron lugar continuas precipitaciones, días en los que se superó casi el 300% respecto a los valores normales. Además, abril fue un mes muy cálido en el norte y cálido en el sur. En la figura 5 queda reflejado de manera gráfica como fue la climatología de Navarra en abril de 2018 (AEMET, 2018b).

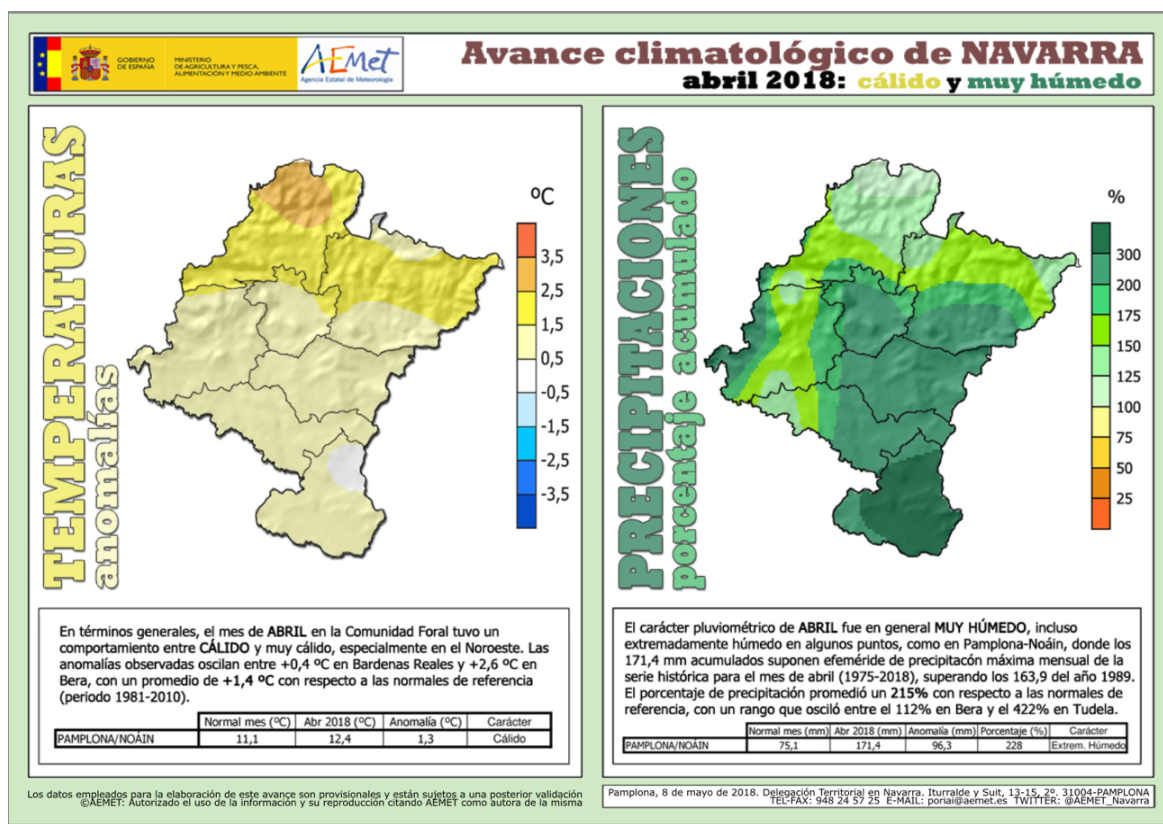


Figura 5. Temperaturas y precipitaciones de Navarra en abril de 2018 (AEMET, 2018b).

Como consecuencia de los aspectos indicados con anterioridad, entre los días 11-15 de abril se produjeron crecidas en los afluentes del Río Ebro; Ega, Arga y Aragón, lo que provocó a su vez una crecida extraordinaria del río Ebro, alcanzándose los caudales (Q_{\max}) y niveles máximos en Castejón y Tudela. En Castejón el pico de crecida tuvo lugar el día 13 con un Q_{\max} de $2.682 \text{ m}^3/\text{s}$ y un nivel de $7,77 \text{ m}$, en Tudela se produce el día 14 con un Q_{\max} de $2413 \text{ m}^3/\text{s}$ y un nivel de $5,34 \text{ m}$ (AEMET, 2018a). Asimismo, las crecidas causaron los desbordamientos de los ríos Aragón, Arga, Arakil, Ebro y Ega, que generaron daños en 88 municipios de la comunidad foral (Gobierno de Navarra, 2018a). Entre los daños, destacan los causados a la agricultura, otros impactos fueron; el corte de numerosas carreteras, con relevancia en la Ribera baja donde a la altura de Castejón se cortó la N-113, en Buñuel la NA-5211, en el eje del Ebro la NA-134 y la carretera que une Fustiñana y Ribaforada NA-5202; calles del casco urbano de Tudela inundadas y rotura de algunos diques de contención del Ebro, como por ejemplo el de Castejón (AEMET, 2018b; EITB, 2018).

2.3.Evaluación del ajuste del mapa de inundabilidad y la inundación real

Esta primera parte del TFG tiene la finalidad de establecer el grado de ajuste entre el mapa de inundabilidad y la inundación real (apartado 2.2) y, además, realizar análisis de caudales y precipitaciones con el objetivo de interpretar cuáles fueron los factores y procesos que provocaron las inundaciones.

En primer lugar, se analiza la distribución de la superficie de dos mapas; el de inundabilidad y el de inundación real, y su distribución para cada T. A continuación, se lleva a cabo un análisis de las frecuencias de los caudales de crecida y otro de las precipitaciones máximas diarias. Posteriormente, se divide el área de estudio en una serie de tramos y se estudia para cada tramo los tres aspectos indicados anteriormente. Finalmente, se relacionan todos los aspectos en conjunto. Todo esto va a permitir observar el nivel de ajuste del mapa de inundabilidad y también realizar una interpretación de los procesos asociados a las inundaciones en abril de 2018 en Navarra.

2.3.1. Periodos de retorno:

Durante esta primera parte del trabajo, se va a trabajar con periodos de retorno, para ello es conveniente aclarar en primer lugar este concepto. Como ya se ha mencionado en la introducción, la peligrosidad hace referencia a la probabilidad de ocurrencia de un evento. A la probabilidad de ocurrencia, se le denomina probabilidad de excedencia, y es la probabilidad que tiene una variable aleatoria(estocástica) X , de superar un determinado valor x , esta probabilidad se expresa como: $\text{Prob}(X \geq x)$. Por otra parte, una función de distribución de probabilidad $F(x)$, es una función matemática que describe lo contrario de la probabilidad de excedencia, es decir, la probabilidad de no excedencia, $\text{Prob}(X \leq x)$. Ambas probabilidades, están relacionadas inversamente con la frecuencia de ocurrencia. A esta frecuencia se le conoce como periodo de retorno (T), y se define como el tiempo

medido en años que transcurre entre distintos eventos de magnitud igual o superior a un determinado valor x . Los conceptos de probabilidad de excedencia, de no excedencia y periodo de retorno, se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$T = \frac{1}{\text{Prob}(X \geq x)} = \frac{1}{1 - \text{Prob}(X \leq x)} \quad (\text{Ec. 1})$$

Para que quede más claro el concepto de periodo de retorno se señala el siguiente ejemplo: Supongamos que un cierto caudal Q , tiene una probabilidad del 50% de superar el valor de $10 \text{ m}^3/\text{s}$, es decir, $P(Q \geq 10) = 0,5$, aplicando la fórmula del T , se tiene que $T=2$, esto quiere decir que, en teoría, cada 2 años va a tener lugar un caudal superior o igual a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ (López, 2018).

2.3.2. Análisis de la superficie inundada:

- Mapa de inundabilidad

A través de la Infraestructura de Datos Espaciales de Navarra (IDENA, 2019) se ha descargado el mapa de inundabilidad de Navarra. En él están representadas las zonas potencialmente inundables para diferentes T (2,33, 5, 10, 25, 50, 100; 500 y 1000). Este mapa de peligrosidad de inundación es el resultado de “Estudios de Delimitación de zonas inundables y ordenación hidráulica de los ríos de Navarra” a continuación, se indican los ríos para los cuales se realizaron estudios:

- Cuencas de Arga y Cidacos: diciembre 2001
- Ríos de la cuenca del Ega: noviembre 2001.
- Cuencas de Aragón e Irati: septiembre 2003.
- Ríos de la cuenca cantábrica: agosto 2005.
- Confluencia de Arga y Aragón: 2010
- Comarca de Pamplona, cuenca vertiente del Arga y afluentes del Arga en Etxauri: TRACASA, diciembre 2012
- Arakil: TRACASA, diciembre 2012.
- Bidasoa: INCLAM, septiembre 2013.
- Cabecera del Ega: TRACASA, junio 2013.

En total, los estudios anteriores abarcan una superficie de 1030 km. La Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) realizó el estudio del eje del Ebro en el 2005 (Gobierno de Navarra, 2019c).

Se vio que la capa relativa al $T=1000$ estaba cortada, por lo que no se ha trabajado con ella, además, la capa $T=5$ en algunas zonas era errónea, ya que representaba una superficie inferior a la de $T=2,33$, por lo tanto, se añadió la superficie de $T=2,33$ que faltaba en la capa $T=5$. La distribución del mapa de inundabilidad tras realizar las modificaciones descritas, se representa en la Figura 6.

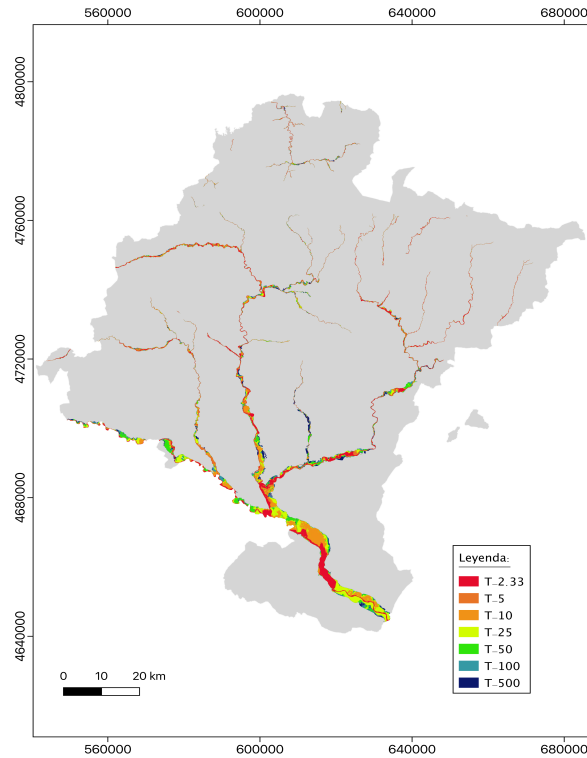


Figura 6. Zonas inundables para diferentes T (IDENA, 2019)

Para la realización del cálculo del área teórica de inundación del mapa de inundabilidad (A_t), correspondiente a cada T (Figura 7), se ha utilizado el programa QGIS. Se trata de un SIG de software libre, mediante el cual es posible trabajar con datos de tipo vectorial o raster y crear mapas.

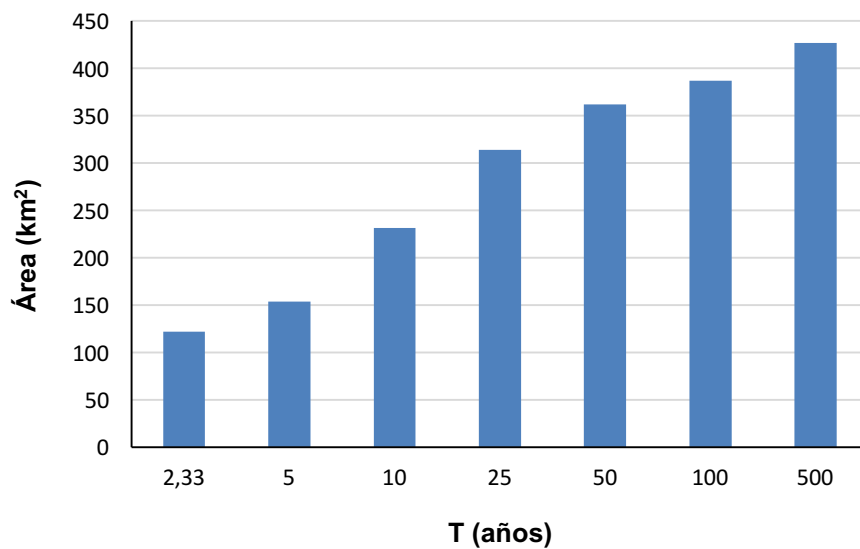


Figura 7. Área teórica inundada para cada T.

- Mapa de inundación real

Se va a trabajar con las capas procedentes del estudio “Delimitación de las zonas inundadas en Navarra a partir de la utilización de imágenes Sentinel disponibles para los días 11-14 de abril de 2018”, obtenido del Sistema de Información territorial de Navarra (SITNA, 2018). En este estudio, utilizaron como fuente de datos, imágenes procedentes de dos satélites Sentinel, uno con sensor radar y el otro con óptico, Sentinel-1 y Sentinel-2 respectivamente. Del Sentinel-1 se obtuvieron imágenes los días 11, 12 y 13 de abril, y del Sentinel-2 la imagen del día 14.

La diferencia entre los sensores ópticos y radar, radica en que los ópticos captan la reflectancia de la tierra ante la radiación solar, es decir, son satélites pasivos, por esta razón estos sensores no pueden generar imágenes en condiciones de nubosidad y oscuridad. Sin embargo, los sensores radar emiten su propia radiación hacia la tierra a frecuencias de microondas y reciben la señal reflejada (retrodispersada) por la tierra hacia el sensor. Por ello se denominan sensores activos, y son capaces de producir imágenes en condiciones en las que un satélite pasivo es incapaz (ESA, 2011).

Utilizando QGIS, en primer lugar, se han eliminado las masas permanentes de agua, debido a que, al tener siempre agua, el satélite las detecta, pero no son zonas inundadas. A continuación, se realizó un buffer de 4 km sobre los ejes de los ríos principales de Navarra, con el objetivo de trabajar sobre una superficie más limpia. Se calculó cuánta superficie del mapa de inundación real (Ar) quedaba dentro de este buffer, obteniendo como resultado una cifra de 105 km². La distribución de la inundación que resulta tras realizar estas operaciones se muestra en la Figura 8.

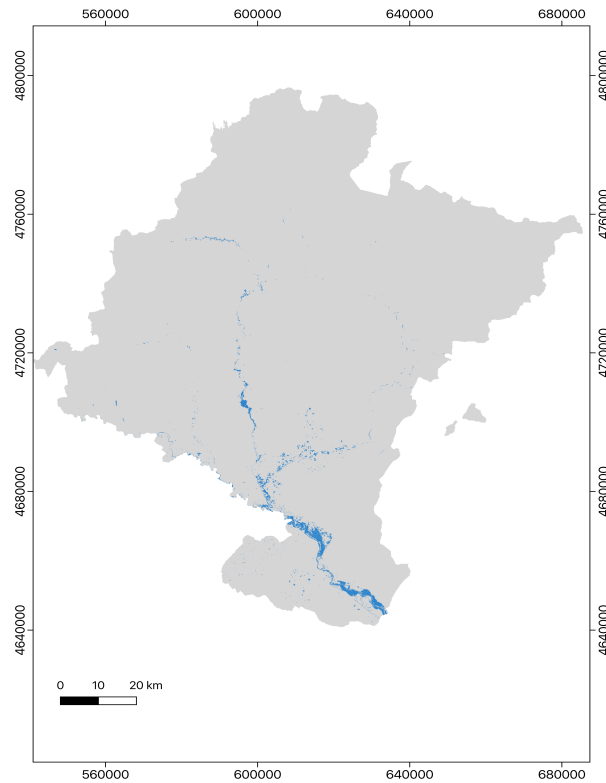


Figura 8. Zonas inundadas entre los días 11-14 de abril de 2018 (SITNA, 2018).

Una vez obtenida el área con la cual se quiere trabajar, se procede a realizar una intersección entre el mapa de inundación real y el mapa de inundabilidad, para cuantificar la cantidad de área realmente inundada para cada T ($Ar \cap At$) y el At que no alcanzó el Ar ($At > Ar$) (Figura 9).

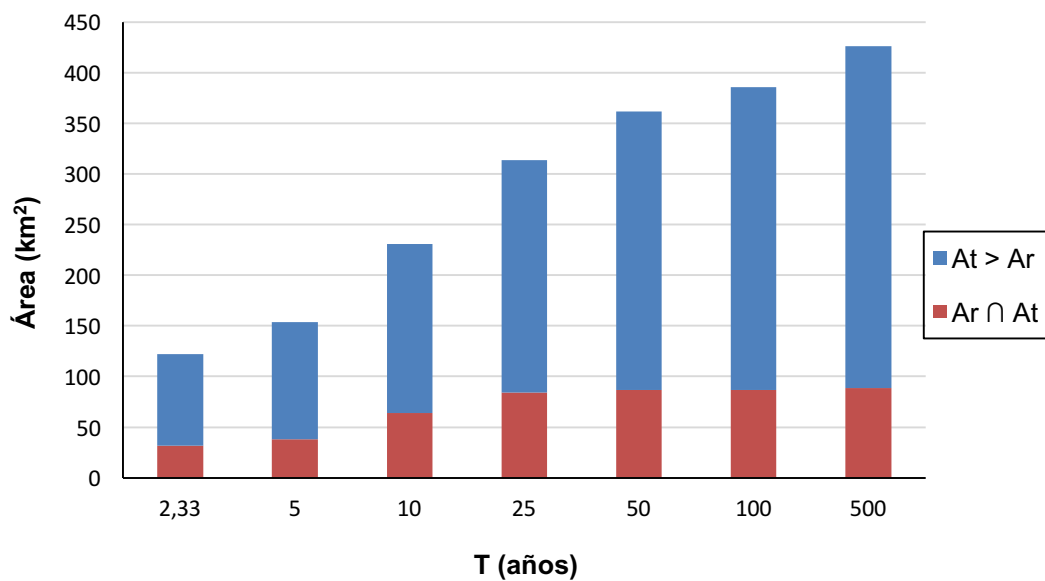


Figura 9. Relación entre Ar y At para diferentes periodos de retorno.

A parte de lo que se muestra en la figura 9, hay un total de 16 km² de Ar que no corresponden a ningún T, es decir, superficies que se inundaron pero que no estaban representadas en el mapa de inundabilidad.

2.3.3. Análisis de frecuencias

Se emplean para conocer la frecuencia con la que aparecen valores extremos de la variable de estudio. En este trabajo las variables van a ser dos; caudales de crecida y precipitaciones máximas diarias. Ambas variables son estocásticas, es decir, están regidas por el azar y por lo tanto para modelar su comportamiento se debe emplear la metodología estadística. El objetivo de estos análisis es establecer los valores de las dos variables asociadas a diferentes T, estas relaciones se conocen como cuantiles (López, 2018).

- Análisis de los caudales de crecida

Se va a realizar este análisis de caudales con el fin de determinar el T del caudal máximo de abril de 2018 (Q_{\max}) y así, tenerlo como criterio a la hora de comparar el mapa de inundabilidad con el mapa de inundación real, ya que un caudal con un determinado T en teoría debería haber inundado la superficie con el mismo valor de T del mapa de inundabilidad.

En este caso no ha sido necesario realizar el análisis estadístico de los caudales ya que se ha partido del realizado por la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) en el Sistema Automático de Información Hidrológica del Ebro (SAIH Ebro, 2019), de donde se han tomado los cuantiles $Q_T - T$, para las estaciones de aforo escogidas.

- Análisis de las precipitaciones máximas diarias

Lo que se pretende con este análisis, es establecer el valor del T de la precipitación máxima diaria de abril (P_{\max}) para poder compararla con el T del Q_{\max} y de esta manera, estimar si el origen de la inundación son las propias precipitaciones recogidas en el entorno local o los caudales que provienen de aguas arriba (bien por precipitaciones o deshielo).

Para diferentes estaciones pluviométricas, se hizo el análisis estadístico utilizando la función de distribución de probabilidad Gumbel. Se ha escogido dicha función dado que generalmente proporciona buenos resultados de ajuste en este tipo de estudios. La función de Gumbel es un método paramétrico que utiliza una fórmula matemática para modelar la serie de datos, dicha fórmula consta de dos parámetros; μ y α , y tiene la siguiente expresión (López, 2018):

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{(x-\mu)}{\alpha}}} \quad (\text{Ec. 2})$$

Para obtener los cuantiles P_{mT-T} , se han realizado los siguientes procedimientos:

- 1) Descarga de los datos históricos, de las Pm para cada estación pluviométrica (Meteo Navarra, 2019). La longitud de las series de datos que se emplearon tienen al menos 25 años de datos. Una vez descargados, se toma el valor de la Pm de cada año, y se ordenan de mayor a menor.
- 2) Cálculo de la media (m_{Pm}) y de la desviación típica (S_{Pm}) de la serie Pm.
- 3) Cálculo de la función de Gumbel $F(Pm_i)$ (siendo Pm_i el Valor de Pm que ocupa el lugar i de la serie ordenada).
- 4) Cálculo de la probabilidad de excedencia, para cada año:

$$1-F(Pm_i) \quad (\text{Ec. 3})$$

- 5) Cálculo de los T para los Pm:

$$T_i = \frac{1}{1-F(Pm_i)} \quad (\text{Ec. 4})$$

- 6) Cálculo de la serie de la variable reducida de Gumbel (siendo N el número de años de la serie e i el orden):

$$Y_i = -Ln \left[Ln \left(\frac{N+1}{i} \right) \right] \quad (\text{Ec. 5})$$

- 7) Cálculo de la media (m_Y) y desviación típica (S_Y) de la variable reducida de Gumbel.
- 8) Cálculo de los parámetros μ y α :

$$\mu = m_{Pm} - 0,5772 \alpha \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} S_{Pm} \quad (\text{Ec. 7})$$

- 9) Cálculo de:

- Y_T para los T (2;5;10;25;50;100 y 500):

$$Y_T = -Ln \left[Ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \quad (\text{Ec. 8})$$

- Factor de frecuencia (K_T) para cada T:

$$K_T = \frac{Y_T - m_Y}{S_Y} \quad (\text{Ec. 9})$$

- P_m para cada T, P_{mT} :

$$P_{mT} = m_{Pm} + K_T * S_{Pm} \quad (\text{Ec. 10})$$

2.3.4. División en tramos dentro del área de estudio

Con el fin de realizar un análisis más exhaustivo se han dividido los mapas de estudio en diferentes tramos significativos (Figura 10) presente también en el Plano 01 del Anexo I. Para cada tramo se van a realizar los análisis de superficie y de frecuencias, los resultados de los cálculos se muestran en las tablas 3:26. En la tabla 2 se muestra información detallada de los tramos de estudio.

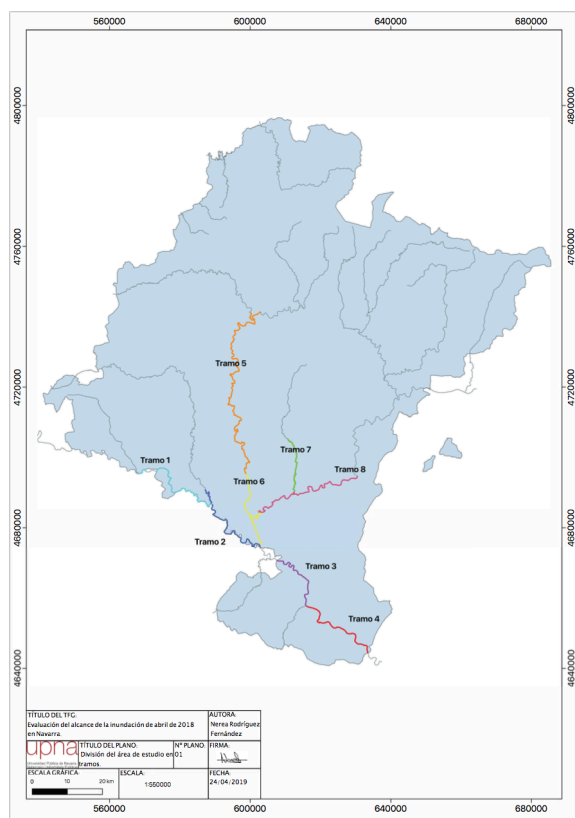


Figura 10. División del área de estudio en tramos.

Tabla 2. Información de los tramos de estudio.

Nº de tramo	Río	Desde	Hasta	Estación de aforo	Estación pluviométrica
1	Ebro	Mendavia	San Adrián	Mendavia	Sesma
2	Ega y Ebro	Andosilla	Milagro	Andosilla	Andosilla
3	Ebro	Cadreita	Tudela	Castejón	Cadreita
4	Ebro	Tudela	Cortes	Tudela	Tudela
5	Arga	Cendea de Olza	Falces	Echauri	Pamplona
6	Arga y Aragón	Falces	Milagro	Funes	Falces
7	Cidacos	Olite	Traibuenas	Olite	Olite
8	Aragón	Carcastillo	Marcilla	Caparroso	Caparroso

2.4. Valoración económica de los daños:

En esta segunda parte del TFG se va a realizar una evaluación de las pérdidas económicas que causaron las inundaciones en las tierras agrícolas. Se va a trabajar con dos capas vectoriales, una de ellas es la superficie inundada reflejada en la figura 8, y la otra es aquella que representa los cultivos declarados en 2018 contenidos en el SIG de la Política Agraria Común (SIGPAC).

En primer lugar, se intersectaron ambas capas, y como resultado se obtuvo una capa en la que estaban las parcelas que se inundaron, a partir de ahí se procedió únicamente con la tabla de atributos de dicha capa. En cuanto a la tabla de atributos, se eliminaron algunos campos ya que no interesaban en el presente estudio, y se dejaron los siguientes:

- PARCELA: Queda indicada el número correspondiente a cada parcela.
- GRUPO_CULT: Representa el grupo de cultivo; TCR (tierra de cultivo de secano, tierra de cultivo de regadío, CP (cultivo permanente) o PT (pastos).
- PRD_DESC: Descripción del producto o cultivo declarado.

Los siguientes pasos fueron:

2.4.1. Cálculo de superficies

Una vez se obtuvieron los campos necesarios, primero se creó un nuevo atributo en el que se calculó el área de cada parcela. A continuación, se creó otro campo en el que se sumaron todas las áreas de las parcelas que tenían el mismo cultivo (solo superficies agrícolas). Obteniendo así el área inundada (ha) correspondiente a cada cultivo (Tabla 27).

Después, se contabilizó la cantidad de área perteneciente a secano y a regadío de cada cultivo (Tabla 28). Para ello, primero se crearon dos campos textuales, uno en el que estaban los cultivos que pertenecían a TCR y otro con los cultivos de TCS, posteriormente, se crearon otros dos campos, pero esta vez numéricos, uno para cada campo textual mencionado, en el que se calculó el área en función del cultivo. De esta manera, se obtuvo el área de los cultivos inundados clasificada por grupo de cultivo. Se vio que para los cultivos declarados como CP no se indicaba si eran de secano o regadío, por lo que se decidió no contabilizarlas, ya que además solo representaban una superficie de 105 ha.

2.4.2. Cálculo de producciones

El segundo paso consistió en la estimación de las producciones por cultivo (kg). Lo primero para poder llevar a cabo dicho cálculo, fue obtener los rendimientos de los cultivos. Los rendimientos se obtuvieron en su mayoría de la estadística del año 2018 de las “Producciones anuales de los cultivos 2018” (Gobierno de Navarra, 2018b), en los cultivos cuyos rendimientos no aparecían en el documento anterior, se tomaron los valores del documento “Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos 2018 (ESYRCE)” (Ministerio De Agricultura, Pesca y Alimentación, 2018). Con los datos de

los rendimientos, se multiplicaron las superficies medidas con los rendimientos, obteniéndose así las producciones totales en kg (Tabla 29).

Debido a que no se contaba con suficientes datos (altura de agua alcanzada en los cultivos, días en los que se mantuvo el agua en las parcelas, estado de desarrollo concreto...) y no se realizó trabajo de campo, es difícil estimar con exactitud el grado de daño sufrido en las parcelas a causa de las inundaciones, de esta manera, no se puede calcular con precisión cuanta producción se perdió. Por las razones expuestas, se realizó una estimación de pérdidas de la producción en base a los siguientes supuestos establecidos para diferentes cultivos:

- Cereales de invierno: Se supuso que se perdió el 50% de la cosecha, ya que los terrenos encharcados provocan que no se puedan llevar a cabo las labores de manera normal.
- Cereales de verano: Se supuso que no se pudo sembrar el 50%, debido al encharcamiento de los terrenos, además no se puede retrasar mucho la siembra ya que la cosecha se pospondría a finales de verano, meses en los que no suele llover y habría riesgo de asurado del cereal.
- Cultivos de verano: Se supuso que no se pudo plantar el 50% de lo deseado por el anegamiento del terreno.
- Cultivos de invierno: Se supuso que se perdió el 25% de la cosecha ya que gran parte de la cosecha ya se ha realizado durante el invierno.
- Cultivos anuales (tienen variedades de otoño-invierno y de invierno-verano): Se supuso que hubo pérdida del 50% en la producción ya que para las variedades de otoño-invierno se habría realizado parte de la cosecha, pero en las variedades de primavera-verano no se habría podido hacerse la plantación/siembra.
- Frutales: Pérdida del 50% por diferentes motivos; pérdida en la recolección, por asfixia radicular, por lavado de nutrientes...

Las pérdidas en la producción, obtenidas de aplicar los coeficientes anteriores a las producciones totales, se muestran en la Tabla 30.

2.4.3. Estimación de pérdidas económicas

Finalmente, para poder llevar a cabo una estimación de las pérdidas en €, fue necesario estimar además de las cifras de producción, los precios percibidos por los agricultores para los distintos cultivos. Las cifras de los precios se obtuvieron de dos documentos de las estadísticas del 2018; “Precios percibidos por los agricultores y ganaderos” y “Precios de productos de pequeña significación” (Gobierno de Navarra, 2018b). Por último, teniendo los valores de los precios percibidos y las producciones de los cultivos se calcularon las pérdidas (€) (Tabla 31).

3. RESULTADOS

3.1. Evaluación del ajuste del mapa de inundabilidad y la inundación real

En esta sección se detallan los resultados de los análisis llevados a cabo para determinar el ajuste entre la inundación real ocurrida en abril de 2018 y los mapas de inundabilidad. Para cada tramo se muestra en primer lugar el resultado del estudio de los cuantiles de los caudales en relación con el caudal máximo del evento. A continuación, se muestra el ajuste entre la superficie inundada (A_r) en relación a la superficie determinada para dicho evento por el estudio de inundabilidad (A_t). Por último, se analiza el estudio de precipitaciones.

- **TRAMO 1:** Ebro, entre Mendavia y San Adrián.

Caudales

Tabla 3. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Ebro en Mendavia. (SAIH Ebro, 2019)

T (años)	Q_T (m ³ /s)
2	1078
5	1461
10	1715
25	2036
100	2509
500	3054

El día 13 de abril se registró un $Q_{\max} = 955,1$ m³/s que se asocia a un T de 1,77.

Superficie inundada

El A_r total del tramo fue de 2,4 km².

Tabla 4. Área inundable y área real inundada del tramo 1 para diferentes T.

T (años)	A_t (km ²)	A_r (km ²)	$A_t \cap A_r$ (km ²)	$A_t > A_r$ (km ²)	$A_r > A_t$ (km ²)
2,33	4,26	2,4	1,2	3,06	1,2
5	4,84	2,4	1,27	3,57	1,13
10	8,44	2,4	1,33	7,11	1,07
25	14,59	2,4	1,38	13,21	1,02
50	20,64	2,4	1,40	19,24	1
100	21,83	2,4	1,41	20,42	0,99
500	24,28	2,4	1,44	22,84	0,96

Para este tramo y para el periodo de retorno más cercano (2,33) al del caudal, se observa una coincidencia del 28,17% entre el estudio de inundabilidad y la inundación real, una sobreestimación del 71,83% y una subestimación de 1,2 km².

Precipitaciones

Tabla 5. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Sesma

T (años)	P_{mT} (mm)
2	31,62
5	43,19
10	50,84
25	60,52
50	67,70
100	74,82
500	91,29

El día 7 de abril, se registró una $P_{\max} = 15,5$ mm siendo su T 0,98, y el día 10, $P_{\max} = 17,5$ mm, siendo su T 1,10. El periodo de retorno del caudal máximo registrado y el periodo de retorno de la precipitación fueron similares, lo que sugiere que las precipitaciones fueron la principal causa del desbordamiento.

- **TRAMO 2:** Ega y Ebro, entre Andosilla y Milagro.

Caudales

Tabla 6. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Ega en Andosilla. (SAIH Ebro, 2019)

T (años)	Q_T (m³/s)
2	177
5	251
10	302
25	369
100	471
500	602

El día 12 de abril se registró un $Q_{\max} = 230,6$ m³/s que se asocia a un T de 4,17 años. Por tanto, la magnitud de la avenida en este tramo (río Ega) fue relativamente superior a la del tramo 1.

Superficie inundada

El Ar total del tramo fue de 3,32 km².

Tabla 7. Área inundable y área real inundada del tramo 2 para diferentes T.

T (años)	At (km ²)	At (km ²)	At∩Ar (km ²)	At>Ar (km ²)	Ar>At (km ²)
2,33	7,45	3,32	2,43	5,02	0,89
5	8,65	3,32	2,49	6,16	0,83
10	13,13	3,32	2,59	10,54	0,73
25	17,43	3,32	2,77	14,66	0,55
50	22,67	3,32	2,87	19,8	0,45
100	24,71	3,32	2,9	21,81	0,42
500	25,36	3,32	2,91	22,45	0,41

Para este tramo y para el periodo de retorno más cercano (5) al del caudal, se observa una coincidencia del 29% entre el estudio de inundabilidad y la inundación real, una sobreestimación del área inundable del 71% y una subestimación de 0,83 km².

Precipitaciones

Tabla 8. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Andosilla

T (años)	Pm _T (mm)
2	32,97
5	48,32
10	58,49
25	71,33
50	80,85
100	90,31
500	112,16

Como en la estación de Andosilla no aparece el dato de P_{max}, para abril, se ha tomado el valor de la estación de San Adrián, registrado el día 7 de abril, con 25,45 mm, siendo su T 1,54 (no se pudo realizar el análisis estadístico para la estación de San Adrián, ya que dicha estación disponía de pocos años con datos y, además, para la mayoría de años había numerosos días sin datos). Por tanto, aunque las precipitaciones fueron cuantiosas, su periodo de retorno fue inferior al del caudal máximo registrado, por lo que se deduce que el desbordamiento se debió principalmente a los caudales provenientes de aguas arriba.

- **TRAMO 3:** Ebro, entre Cadreita y Tudela.

Caudales

Tabla 9. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Ebro en Castejón. (SAIH Ebro, 2019)

T (años)	Q_T (m³/s)
2	2.104
5	2.672
10	3.047
25	3.522
100	4.223
500	5.031

El día 13 de abril se registró un $Q_{\max} = 2.682 \text{ m}^3/\text{s}$, que se asocia a un T de 5,13.

Superficie inundada

El Ar total del tramo fue de $29,57 \text{ km}^2$.

Tabla 10. Área inundable y área real inundada del tramo 3 para diferentes T

T (años)	A_t (km²)	A_r (km²)	$A_t \cap A_r$ (km²)	$A_t > A_r$ (km²)	$A_r > A_t$ (km²)
2,33	17,68	29,57	11,07	6,61	18,5
5	17,68	29,57	11,07	6,61	18,5
10	46,5	29,57	24,76	21,74	4,81
25	60,03	29,57	27,13	32,9	2,44
50	65,17	29,57	27,67	37,5	1,9
100	66,75	29,57	27,93	38,82	1,64
500	68,29	29,57	28,06	40,23	1,51

Para este tramo y para el periodo de retorno más cercano (5) al del caudal, se observa una coincidencia del 63% entre el estudio de inundabilidad y la inundación real, una sobreestimación del área inundable del 37 % y una subestimación de $18,5 \text{ km}^2$.

Precipitaciones**Tabla 11.** Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Cadreita

T (años)	P_{m-T} (mm)
2	31,25
5	48,56
10	60,02
25	74,5
50	85,24
100	95,90
500	120,54

El día 10 de abril se registró una $P_{\max} = 30$ mm, siendo su T 1,92. El periodo de retorno del caudal máximo registrado es superior al de la precipitación, lo que indica que en este tramo las precipitaciones locales tampoco fueron la principal causa de inundación.

- **TRAMO 4:** Ebro, entre Tudela y Cortes.

Caudales**Tabla 12.** Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Ebro en Tudela. (SAIH Ebro, 2019)

T (años)	Q_T (m³/s)
2	2115
5	2667
10	3045
25	3522
100	4225
500	5036

El día 14 de abril se registró un $Q_{\max} = 2.413$ m³/s, que se asocia a un T de 3,61.

Superficie inundada

El Ar total del tramo fue de 27,8 km².

Tabla 13. Área inundable y área real inundada del tramo 4 para diferentes T

T (años)	At (km ²)	Ar (km ²)	At∩Ar (km ²)	At>Ar (km ²)	Ar>At (km ²)
2,33	14,57	27,8	5,32	9,25	22,48
5	14,57	27,8	5,32	9,25	22,48
10	23,52	27,8	10,87	12,65	16,93
25	49,84	27,8	25,79	24,05	2,01
50	54,59	27,8	26,19	28,4	1,61
100	57,4	27,8	26,33	31,07	1,47
500	60,56	27,8	26,42	34,14	1,38

Para este tramo y para el periodo de retorno más cercano (5) al del caudal, se observa una coincidencia del 37 % entre el estudio de inundabilidad y la inundación real, una sobreestimación del área inundable del 63 % y una subestimación de 22,48 km². En este caso es muy llamativo que el área inundada fue en magnitud similar (más de la mitad) a la pronosticada por el estudio de inundabilidad para un T de 25 años, cuando el T de la avenida fue sólo de unos 4 años. Por tanto, la falta de coincidencia entre el estudio de inundabilidad y la inundación real es en este caso manifiesta que existe una sobreestimación del área inundable. Comentar que en este tramo el T-5 del mapa de inundabilidad no estaba bien.

Precipitaciones

Tabla 14. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Tudela.

T (años)	Pm _T (mm)
2	36,18
5	53,24
10	64,54
25	78,81
50	89,40
100	99,91
500	124,20

El día 11 de abril se registró una P_{max} = 46 mm, siendo su T 3,72. Por lo tanto, en este caso se observa una coincidencia casi total entre la magnitud de la avenida y la del evento de precipitación. Observando el plano 05 del Anexo I, se ve que la mayor parte de la

inundación se produjo en la parte superior del tramo, donde está situado Tudela, municipio en el que se alcanzaron los valores más altos de precipitación. Lo anterior pone de manifiesto que la causa de inundación aquí fueron las intensas precipitaciones en la parte superior del tramo.

- **TRAMO 5:** Arga, entre Cendea de Olza y Falces.

Caudales

Tabla 15. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Arga en Etxauri. (SAIH Ebro, 2019).

T (años)	Q_T (m³/s)
2	609
5	881
10	1062
25	1301
100	1663
500	2090

El día 12 de abril se registró un $Q_{\max}=956\text{m}^3/\text{s}$, que se asocia a un T de 7,07.

Superficie inundada

El Ar total del tramo fue de $11,76\text{ km}^2$.

Tabla 16. Área inundable y área real inundada del tramo 5 para diferentes T.

T (años)	A_t (km²)	A_r (km²)	$A_t \cap A_r$ (km²)	$A_t > A_r$ (km²)	$A_r > A_t$ (km²)
2,33	10,63	11,76	3,57	7,06	8,19
5	15	11,76	5,96	9,04	5,8
10	21,35	11,76	9,52	11,83	2,24
25	25,18	11,76	10,36	14,82	1,4
50	29,05	11,76	10,72	18,33	1,04
100	31,20	11,76	10,9	20,3	0,86
500	34,51	11,76	11	23,51	0,76

Para este tramo y para el periodo de retorno más cercano (5) al del caudal, se observa una coincidencia del 40 % entre el estudio de inundabilidad y la inundación real, una sobreestimación del área inundable del 60 % y una subestimación del $5,8\text{ km}^2$. En este tramo al igual que en el 5, la capa T-5 no era correcta.

Precipitaciones**Tabla 17.** Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Pamplona.

T (años)	P_mT (mm)
2	45,71
5	60,29
10	69,95
25	82,14
50	91,19
100	100,17
500	120,93

El día 7 de abril se registró una $P_{\max} = 44,4$ mm siendo su T 1,92. En este caso se aprecia también que el T de los caudales fue muy superior al de las precipitaciones registradas en esas fechas, por tanto, parece evidente que el origen de la avenida se produjera en las zonas de cabecera de los afluentes del Ebro.

- **TRAMO 6:** Arga y Aragón, entre Falces y Milagro.

Caudales**Tabla 18.** Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Arga en Funes. (SAIH Ebro, 2019)

T (años)	Q_T (m³/s)
2	653
5	947
10	1147
25	1409
100	1815
500	2307

El día 13 de abril se registró un $Q_{\max} = 877$ m³/s, que se asocia a un T de 4,28.

Superficie inundada

El Ar total del tramo fue de 9,91 km².

Tabla 19. Área inundable y área real inundada del tramo 6 para diferentes T.

T (años)	At (km ²)	Ar (km ²)	At∩Ar (km ²)	At>Ar (km ²)	Ar>At (km ²)
2,33	8,35	9,91	3,32	5,03	6,59
5	12,95	9,91	5,51	7,44	4,4
10	24,18	9,91	6,95	17,23	2,96
25	33,86	9,91	7,88	25,98	2,03
50	36,04	9,91	8,08	27,96	1,83
100	38,45	9,91	8,15	30,3	1,76
500	42,30	9,91	8,21	34,09	1,7

Para este tramo y para el periodo de retorno más cercano (5) al del caudal, se observa una coincidencia del 43 % entre el estudio de inundabilidad y la inundación real, una sobreestimación del área inundable del 57 % y una subestimación de 4,4 km².

Precipitaciones

Tabla 20. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias para la estación pluviométrica de Falces

T (años)	Pm _T (mm)
2	34,16
5	51,47
10	62,93
25	77,42
50	88,16
100	98,83
500	123,47

El día 7 de abril se registró una P_{max}= 18,5 mm siendo su T 1,08, y el día 10, P_{max}=18,8 mm siendo su T 1,1.

- **TRAMO 7:** Cidacos, entre Olite y Traibuenas.

Caudales

Tabla 21. Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Cidacos en Olite. (SAIH Ebro, 2019)

T (años)	Q_T (m³/s)
2	45
5	74
10	95
25	124
100	176
500	243

El día 12 de abril se registró un Q_{\max} de 111 m³/s, se asocia a un T de 18,27. Esta avenida es, en proporción, la de mayor magnitud de todos los tramos estudiados.

Superficie inundada

El Ar total del tramo fue de 2,42 km².

Tabla 22. Área inundable y área real inundada del tramo 7 para diferentes T.

T (años)	At (km²)	Ar (km²)	At∩Ar (km²)	At>Ar (km²)	Ar>At (km²)
2,33	0,46	2,42	0,00019	0,45981	2,41981
5	0,56	2,42	0,0011	0,5589	2,4189
10	0,96	2,42	0,068	0,892	2,352
25	1,28	2,42	0,1	1,18	2,32
50	2,71	2,42	0,17	2,54	2,25
100	3,21	2,42	0,22	2,99	2,2
500	7,09	2,42	0,49	6,6	1,93

Para este tramo y para el periodo de retorno más cercano (25) al del caudal, se observa una coincidencia del 8% entre el estudio de inundabilidad y la inundación real, una sobreestimación del área inundable del 92% y una subestimación de 2,42 km². Se observa que en este tramo hay una subestimación importante de la zona inundada.

Precipitaciones**Tabla 23.** Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Olite.

T (años)	Pm_T (mm)
2	35,45
5	50,80
10	60,96
25	73,80
50	83,33
100	92,78
500	114,63

Para el dato de abril de 2018 se ha tomado el de la estación pluviométrica de Olite de INTIA, ya que en la manual para abril no hay ningún dato. En dicha estación el valor máximo se registró el día 11 con 34,5mm, por lo que se asocia a un T de 1,94. En el caso de este tramo, parece que las precipitaciones recogidas en toda la cuenca del Cidacos en la semana anterior fueron las causantes de la avenida y el desbordamiento posterior.

- **TRAMO 8:** Aragón, entre Carcastillo y Marcilla.

Caudales**Tabla 24.** Cuantiles de los caudales de crecida, para la estación de aforo del Río Aragón en Caparros. (SAIH Ebro, 2019)

T (años)	Q_T (m³/s)
2	727
5	1077
10	1329
25	1631
100	2116
500	2721

El día 12 de abril se registró un $Q_{\max} = 940 \text{ m}^3/\text{s}$, que se asocia a un T de 3,82. La magnitud del evento en este tramo es considerable pero inferior, en proporción, a la registrada en otros. Teniendo en cuenta que este tramo corresponde a la cuenca del río Aragón que recoge la mayor parte de los recursos hídricos procedentes de las nieves de la Comunidad Foral, parece descartable la hipótesis de que la avenida y posterior inundación se debiera principalmente a un evento súbito de deshielo.

Superficie inundada

El Ar total del tramo fue de 8,52 km².

Tabla 25. Área inundable y área real inundada del tramo 8 para diferentes T.

T (años)	At (km ²)	Ar (km ²)	At∩Ar (km ²)	At>Ar (km ²)	Ar>At (km ²)
2,33	12,90	8,52	2,34	10,56	6,18
5	16,70	8,52	3,17	13,53	5,35
10	18,26	8,52	3,61	14,65	4,91
25	22,08	8,52	4,26	17,82	4,26
50	26,64	8,52	4,72	21,92	3,8
100	29,13	8,52	4,97	24,16	3,55
500	33,81	8,52	5,28	28,53	3,24

Para este tramo y para el periodo de retorno más cercano (5) al del caudal, se observa una coincidencia del 19% entre el estudio de inundabilidad y la inundación real, una sobreestimación del área inundable del 81% y una subestimación de 5,35 km². A partir de los datos indicados, se aprecia una clara sobreestimación del área inundada por parte del estudio de inundabilidad.

Precipitaciones

Tabla 26. Cuantiles de las precipitaciones máximas diarias, para la estación pluviométrica de Caparroso.

T (años)	Pm _T (mm)
2	35,18
5	51,58
10	62,44
25	76,16
50	86,34
100	96,45
500	119,8

El día 7 de abril se registró una P_{max} = 28,8 mm, siendo su T 1,63.

3.1.1. Discusión

En cuanto a los caudales, los periodos de retorno oscilan entre 2 y 19 años aproximadamente. Los valores más altos se dieron en el tramo 7, donde está situado el río Cidacos, y el tramo 5, donde se encuentra el Arga. Por otro lado, el oeste del río Ebro, es decir, el tramo 1, el caudal presenta el periodo de retorno más bajo.

Se observa que la superficie real inundada analizando todos los tramos en su conjunto, fue de 96 km² (esta área no representa el total del área real inundada, 105 km², indicada en la página 16, ya que hay pequeñas superficies aisladas que no se han estudiado en los tramos) sin embargo, el mapa de inundabilidad preveía que se iba a inundar 91 km². Hubo coincidencia de 35 km² entre el mapa de inundabilidad y la inundación. Se observan dos tipos de desajustes del mapa de inundabilidad, por un lado, una sobreestimación de 56 km², y una subestimación de 61 km².

El tramo con la mayor coincidencia entre las dos cartografías es el tramo 3, el que presenta una mayor sobreestimación es el tramo 7, y los tramos 7 y 4 son los que mayor subestimación respecto al área real inundada presentan. Los resultados pueden observarse de manera gráfica en los planos presentes en el Anexo I.

Comparando los periodos de retorno de los caudales con los de las precipitaciones, se observa que los periodos de retorno de las precipitaciones máximas locales no fueron especialmente elevados, lo que sugiere que la causa de los aumentos del caudal pudieron ser las intensas precipitaciones aguas arriba de los ríos. Comentar, además, que, aunque los periodos de retorno de las precipitaciones máximas diarias no fueron significativos, entre los días 6 y 13 prácticamente no paro de llover, por lo que la acumulación de dichas precipitaciones pudo ser el origen de las inundaciones.

3.2. Valoración económica de los daños:

Superficies afectadas:

En total se han inundado 6.553 ha correspondientes a tierras de cultivo, referidas a aproximadamente 80 cultivos, principalmente maíz, trigo blando, arroz, cebada y alfalfa, que representan en su conjunto el 70% del total. Entre el porcentaje restante, los cultivos más afectados han sido tomate para industria, brócoli, cebolla, calabacín, guisante, coliflor, y espárragos. Además de los cultivos mencionados, hay una superficie de barbecho afectada de un total de 760 ha, es decir, el 12% del total. En la Tabla 27 se indican las superficies inundadas de los principales cultivos afectados y el % que representan respecto del total, y en la Tabla 28 queda reflejada el área de los principales cultivos inundados clasificados por grupo de cultivo.

Además de las superficies con cultivos, también se inundó una superficie total de 760 ha correspondiente a superficies de barbecho, representa así el 12% del total.

Tabla 27. Superficies (Ha) y % de los principales cultivos afectado por la inundación.

Cultivo	Superficie (ha)	Proporción (%)
Maíz	1.379	21
Trigo blando	1.182	18
Arroz	894	13,6
Cebada	617	9,4
Alfalfa	339	5,2
Tomate para transformación	159	2,4
Brócoli	132	2
Cebolla	126	1,9
Calabacín	106	1,6
Guisantes	106	1,6
Coliflor	90	1,4
Espárragos	87	1,3

En las valoraciones publicadas por el Gobierno de Navarra el día 20 de abril de 2018, se indica que las inundaciones del mes de abril afectaron a 5.772 ha de superficies de cultivo, principalmente a cereales de invierno, que representan aproximadamente el 30% (Gobierno de Navarra, 2018c). Comparando dichos datos con las cifras obtenidas en los cálculos se observa que se asemejan bastante los datos obtenidos con los publicados por el gobierno.

Tabla 28. Superficies (ha) según grupo de cultivo de los principales cultivos afectados.

Cultivo	SECANO	REGADIO
	Superficie (ha)	Superficie (ha)
Maíz	90	1.289
Trigo blando	146	1.035
Arroz	1	893
Cebada	116	501
Alfalfa	2	337
Tomate para transformación	2	157
Brócoli	2	131
Cebolla	1	126
Calabacín	-	106
Guisantes	2	104
Coliflor	0	90
Espárragos	1	85
TOTAL	434	5359

Pérdidas en producciones:

Para cada cultivo se han estimado los rendimientos potenciales esperables en 2018 y tras multiplicarlo por las superficies de la Tabla 28 se ha obtenido la producción total afectada de cada cultivo (Tabla 29). A continuación, se ha aplicado un coeficiente de pérdidas calculado según los daños previsibles en función de la tipología del cultivo, y se han estimado las mermas totales producidas en la producción (producto entre producción total afectada y coeficiente de pérdidas) (Tabla 30).

Tabla 29. Producciones totales afectadas (t) de los principales cultivos.

Cultivo	Rendimientos (kg/ha)		Producción total afectada (t)
	Secano	Regadío	
Maíz	5.500	11.101	14.308
Alfalfa	13.420	47.256	14.215
Tomate para transformación	5	76.723	12.033
Calabacín	-	71.650	7.615
Cebolla	-	54.626	7.331
Trigo blando	4.868	5.818	6.740
Arroz	-	8.000	5.018
Cebada	3.991	5.094	2.896
Coliflor	-	23.300	2.104
Brócoli	-	12.750	1.665
Pimiento	-	29.400	722
Calabaza	-	42.800	694

Tabla 30. Mermas en la producción (t) de los principales cultivos afectados.

Cultivo	Producción total afectada (t)	Coefficiente de pérdidas (%)	Mermas en producción (t)
Maíz	14.308	50	7.154
Alfalfa	14.215	50	7.107
Tomate para transformación	12.033	50	6.016
Calabacín	7.615	50	3.807
Cebolla	7.331	50	3.665
Trigo blando	6.740	50	3.370
Arroz	5.018	50	2.509
Cebada	2.896	50	1.448
Coliflor	2.104	25	526
Brócoli	1.665	25	416
Pimiento	722	50	361
Calabaza	694	50	347

Pérdidas económicas:

Por último, se han estimado los precios por kg de producción de cada cultivo con lo que se han calculado las pérdidas económicas totales (Tabla 31). Tras los cálculos realizados para obtener las pérdidas económicas (producto la merma en las producciones y los precios por cultivo), se estima que las inundaciones de abril de 2018 en Navarra causaron en cultivos unas pérdidas económicas de aproximadamente 8 millones de €, en concreto 8.393.055€.

Tabla 31. Pérdidas económicas (€) de los principales cultivos afectados

Cultivo	Mermas en producción (t)	Precio (€/100kg)	Pérdida económica (€)
Calabacín	3.807	49	1.865.648
Maíz	7.154	17,84	1.276.232
Alfalfa	7.107	11,02	783.222
Arroz	2.509	30	752.627
Trigo blando	3.370	18,82	634.189
Espárragos	182	324,35	589.352
Tomate para transformación	6.016	8,89	534.856
Cebolla	3.665	14,5	531.463
Pimiento	361	76,06	274.474
Cebada	1.448	17,89	259.077
Coliflor	526	35,9	188.846
Brócoli	416	35	145.702

El Gobierno de Navarra aprobó una ayuda de un total de 750.000€ dirigidas a titulares de explotaciones agrarias por las inundaciones de abril de 2018. Estas ayudas hacen referencia a pérdidas de renta producidas ya sea por imposibilidad de establecer el cultivo (lucro cesante) o por pérdidas de las producciones. Estas ayudas son complementarias a las otorgadas por los seguros agrarios, es decir, las ayudas que otorga el gobierno son la diferencia entre el daño tasado y el indemnizado por dichos seguros (Gobierno de Navarra, 2018d).

Comparando dicha cifra con la obtenida tras los cálculos (aproximadamente 8 millones de €), se observa que las ayudas otorgadas son inferiores a la pérdida de renta estimada. Pero hay que tener en cuenta que además de las ayudas del gobierno hay otro tipo de ayudas, por ejemplo, las de los seguros agrarios.

3.2.1. Discusión

En los datos obtenidos de la estimación económica de los daños, se puede ver que las inundaciones afectaron a superficies de cultivos con un total 6.553 ha, los principales cultivos afectados fueron los cereales de invierno. Los datos se asemejan bastante a los proporcionados por el Gobierno de Navarra, quienes indican que las inundaciones causaron daños a 5.773 ha de superficies de cultivos. Sin embargo, el cálculo realizado, no se corresponde con el indicado por Agroseguro, ya que en uno de sus informes manifestaban que la superficie siniestrada fue de aproximadamente 2.500 ha (Agroseguro, 2018).

En cuanto a las pérdidas económicas, no se puede comparar el valor obtenido en los cálculos, ya que no se dispone de un dato de referencia concreto de las indemnizaciones otorgadas por los seguros agrarios.

4. CONCLUSIONES

En cuanto a la primera parte del estudio, cuyo objetivo radica en analizar el ajuste entre el mapa de inundabilidad e interpretar los factores de generación de la inundación. Se ha observado una falta de ajuste entre la cartografía de inundabilidad existente y la extensión real de la inundación ocurrida en abril de 2018.

Para el total de la Comunidad Foral se produjo una superficie inundada de 96 km², de los que 35 km² coincidieron con lo predicho en el estudio de inundabilidad para un evento de esa magnitud. El estudio de inundabilidad pronosticó una inundación de 91 km², de los cuales 56 km² en realidad no llegaron a inundarse, aunque 61 km² no incluidos en la cartografía de inundabilidad se inundaron.

Por tanto, la falta de ajuste se produjo por sobreestimación y subestimación del mapa de inundabilidad. Señalar que, el estudio de inundabilidad se realizó hace ya algunos años, y que posterior a los estudios se han podido construir elementos antrópicos, como por ejemplo diques y motas, que provocan la alteración de la geomorfología del terreno, esto hace que la distribución de la inundación difiera de la prevista en los mapas de peligrosidad. Destacar además que el fenómeno de las inundaciones es altamente dinámico y cuya distribución depende de múltiples factores, por lo que la distribución del área inundada entre diferentes inundaciones puede variar significativamente.

En el presente trabajo se ha utilizado como referencia la delimitación del área inundada obtenida por teledetección. Aunque se considera una fuente de información fiable, es preciso reconocer que la técnica tiene su error y cierto grado de incertidumbre. Por tanto, este estudio recomienda la realización de una evaluación más exhaustiva incorporando otro tipo de información de referencia para corroborar los resultados aquí obtenidos.

El análisis combinado de caudales y precipitaciones a partir de los datos recogidos en las estaciones de aforos y pluviométricas, sugieren que la inundación se produjo por las cuantiosas y persistentes precipitaciones registradas la semana previa al evento en las subcuencas de los ríos Ega, Arga, Cidacos y Aragón y no tanto por un único evento de precipitación local o por un fenómeno de deshielo súbito.

En cuanto a la parte del trabajo correspondiente a la estimación económica de los daños producidos por las inundaciones, se tiene que las inundaciones afectaron a 6.553 ha de superficies de cultivos, especialmente a cereales de invierno, dichos daños se tradujeron en pérdidas económicas estimadas en aproximadamente 8 millones de €.

Tal y como ha podido observarse, los SIG son una herramienta de gran utilidad en la evaluación de los daños producidos por desastres climáticos, ya que agilizan el trabajo y permiten una visión global. Pese a ello, para una valoración minuciosa de los daños, deben emplearse otras fuentes de datos, con el objetivo analizar cualitativamente los daños producidos, especialmente en el sector de la agricultura, donde los daños producidos dependen de múltiples factores.

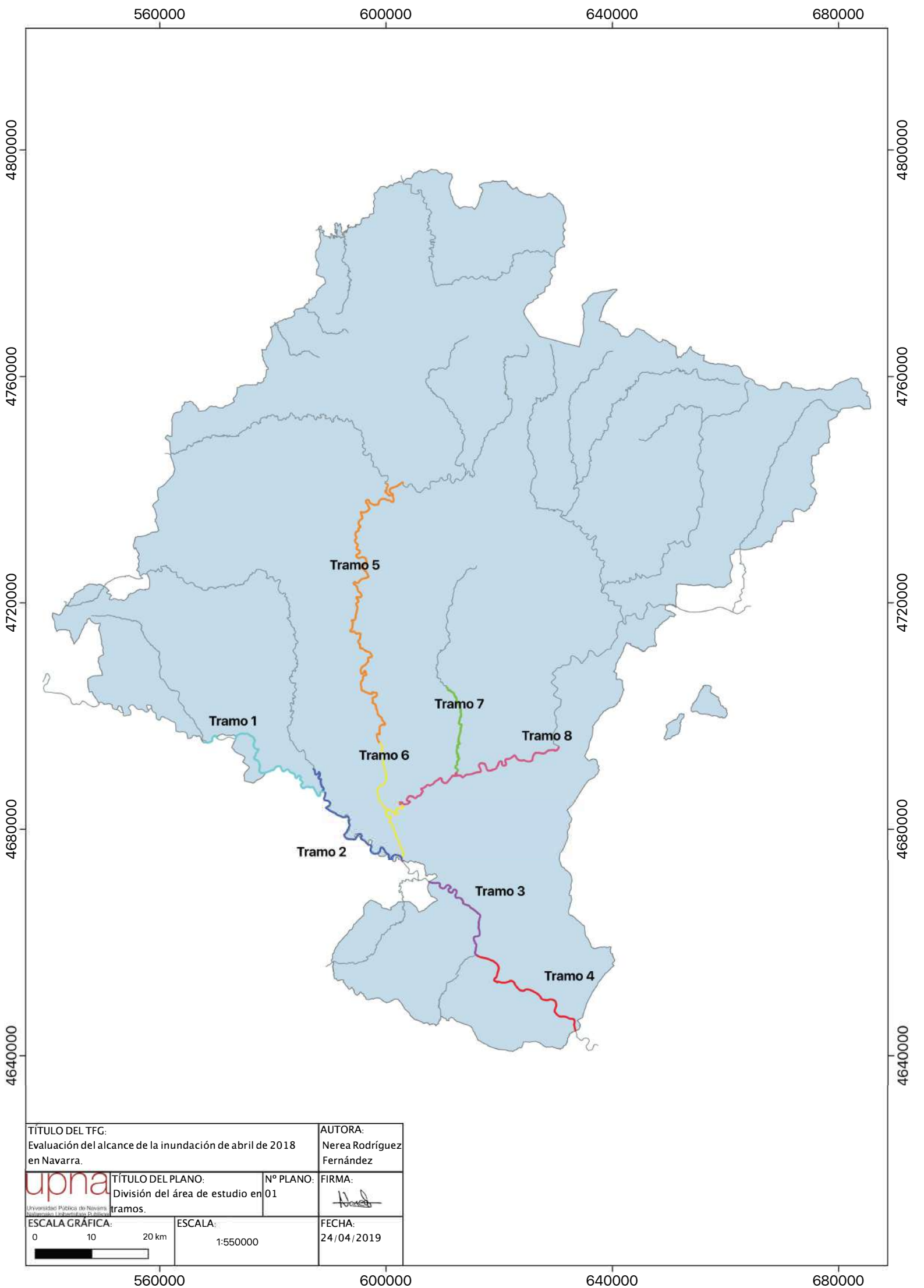
5. REFERENCIAS

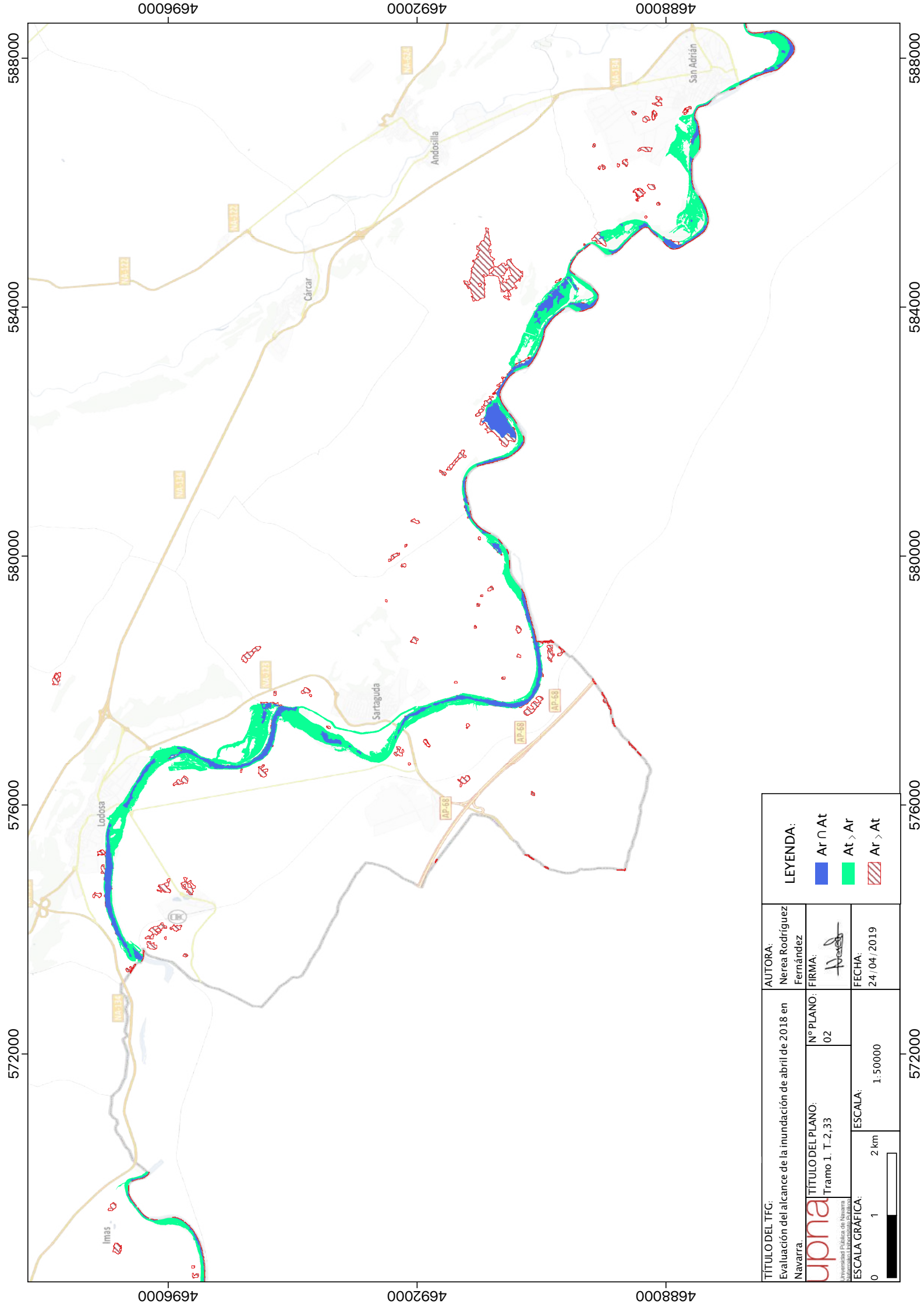
- AEMET. (2018a). PRINCIPALES EPISODIOS DE INUNDACIONES DE 2018. Recuperado de https://www.miteco.gob.es/es/agua/formacion/tarde-01-principales-episodios-de-inundaciones-de-2018-aemet_tcm30-485279.pdf
- AEMET. (2018b). *Avance climatológico de Navarra abril 2018*. Recuperado de http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumen_es_climat/ccaa/comunidad-foral-de-navarra/avance_climat_nav_abr_2018.pdf
- Agroseguro. (2018). Informe siniestralidades 2018. Recuperado de <http://www.agro-alimentarias.coop/ficheros/doc/05892.pdf>
- Cuatro carreteras navarras permanecen cortadas por inundaciones. (14 de abril de 2018). *Eitb.eus*. Recuperado de <https://www.eitb.eus/es/noticias/sociedad/detalle/5527213/inundaciones-navarra-situacion-carreteras-14-abril-2018/>
- Dirección General de Protección Civil y Emergencias (28 de marzo de 2019). *Protección civil presenta un video informativo con recomendaciones por inundaciones*. [Comunicado de prensa] Recuperado de <http://www.proteccioncivil.es/sala-de-prensa/noticias/>
- ESA. (2009). *¿Qué es la teledetección?*. Recuperado de http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMO1U3FEXF_2.html
- ESA. (2011). *Tecnología de radar*. Recuperado de http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_ES/SEMGV7E3GXF_2.html
- ESA (2019). El programa Copérnico. Recuperado de https://m.esa.int/esl/ESA_in_your_country/Spain/El_programa_Copernico
- España. Ministerio de la Presidencia. (2010). *Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión de riesgos de inundación*. (BOE núm. 171, de 15 de julio de 2010). Recuperado de <https://www.boe.es/boe/dias/2010/07/15/pdfs/BOE-A-2010-11184.pdf>
- FAO. (2015). Impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4434e.pdf>
- Gobierno de Navarra. (2018a). *El Gobierno ratifica la relación de municipios afectados por las lluvias e inundaciones del pasado abril*. Recuperado de <http://www.navarra.es/NR/rdonlyres/4825F4F5-101A-4366-9D8F-63F95A17676D/417949/municipiosafectadosinundaciones.pdf>
- Gobierno de Navarra. (2018b). Estadística agraria. *Plan de estadística 2018*. Recuperado de http://www.navarra.es/home_es/Temas/Ambito+rural/Indicadores/

- Gobierno de Navarra. (2018c). Un total de 10.016 hectáreas inundadas y 69 localidades afectadas, primera valoración de las inundaciones en Navarra. [Comunicado de prensa]. Recuperado de https://www.navarra.es/home_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2018/04/20/valoracion+inundaciones+abril+2018.htm
- Gobierno de Navarra. (2018d). Abierto el plazo para solicitar ayudas por daños y pérdidas por lluvias e inundaciones extraordinarias de abril, mayo y junio. [Comunicado de prensa]. Recuperado de https://www.navarra.es/home_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2018/08/10/plazo+solicitud+ayudas+lluvias+inundaciones+extraordinarias.htm
- Gobierno de Navarra. (2019a). Geografía y población. El territorio y sus gentes. Recuperado de https://www.navarra.es/home_es/Navarra/Asi+es+Navarra/Geografia+y+poblacion/El+territorio+y+sus+gentes.htm
- Gobierno de Navarra. (2019b). Recursos hídricos. Los ríos. Recuperado de http://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/El+agua+en+Navarra/LosRios.htm
- Gobierno de Navarra. (2019c). Inundabilidad. Recuperado de https://www.navarra.es/home_es/Temas/Medio+Ambiente/Agua/Documentacion/Iundabilidad/
- IDENA, (2019). Descargar. Recuperado de <http://idena.navarra.es/portal/descargar>
- ICGC. (2019). Información general sobre riesgos geológicos. Conocimientos básicos. Conceptos. Recuperado de <http://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Riesgos-geologicos/Informacion-general-sobre-riesgos-geologicos/Conocimientos-basicos.-Conceptos>
- IPCC. (2012). *Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático*. Recuperado de https://wg1.ipcc.ch/srex/downloads/SREX_SPM_Spanish.pdf
- López, J.J. (2018). Apuntes asignatura: Infraestructuras y obras hidráulicas. Dpto. de Proyectos y Medio Rural. UPNA
- Meteo Navarra. (2018). *COMENTARIO CLIMATOLÓGICO DE LA PRIMAVERA 2018*. Recuperado de http://meteo.navarra.es/_data/comentarios_delmes/2018-07-21.pdf
- Meteo Navarra. (2019). Meteorología y climatología de Navarra. Descargar datos. Recuperado de <http://meteo.navarra.es/>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. (2018). *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Resultados 2018*. Recuperado de https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/boletin2018_tcm30-504212.pdf

- MITECO. (2015). Áreas con riesgo potencial significativo de inundación (ARPSIs). Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/ARPSIs.aspx>
- MITECO. (2019). Mapas de peligrosidad por inundación fluvial. Recuperado de <https://www.miteco.gob.es/es/cartografia-y-sig/ide/descargas/agua/Mapas-peligrosidad-por-inundacion-fluvial.aspx>
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de información Geográfica*. Recuperado de <http://volaya.github.io/libro-sig/index.html>
- RNTA. (2010). *Guía Didáctica de Teledetección y Medio Ambiente*. Recuperado de http://www.aet.org.es/files/guia_teledeteccion_medio_ambiente.pdf
- SAIH Ebro. (2019). Datos: Aforos en río. Recuperado de <http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/datos/mapas/tipoestacion:A>
- SITNA. (2018). Delimitación de las zonas inundadas en Navarra a partir de la utilización de imágenes Sentinel disponibles para los días 11-14 de abril de 2018. En *Blog del SITNA*. Recuperado de <http://ww2.pcypsitna.navarra.es/Participa/Blog1/Lists/Categorias/Category.aspx?Name=Buenas prácticas>
- Unión Europea. (2007). DIRECTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de octubre de 2007 relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación. Diario Oficial de la Unión Europea L 288, 6 de noviembre de 2007). Recuperado de <http://data.europa.eu/eli/dir/2007/60/oj>
- UNISDR. (2004). *¿Qué significa la vulnerabilidad?*. Recuperado de <https://www.unisdr.org/2004/campaign/booklet-spa/page8-spa.pdf>
- UNISDR. (2015). *The human cost of weather related disasters 1995-2015*. Recuperado de https://www.unisdr.org/2015/docs/climatechange/COP21_WeatherDisastersReport_2015_FINAL.pdf
- Van Westen, C. (2000). *REMOTE SENSING FOR NATURAL DISASTER MANAGEMENT*. Recuperado de https://www.isprs.org/proceedings/XXXIII/congress/part7/237_XXXIII-part7s.pdf
- Van Westen, C. (2017). *Teledetección para el manejo de Desastres Naturales*. Recuperado de <http://repo.floodalliance.net/jspui/handle/44111/2255>

ANEXO I

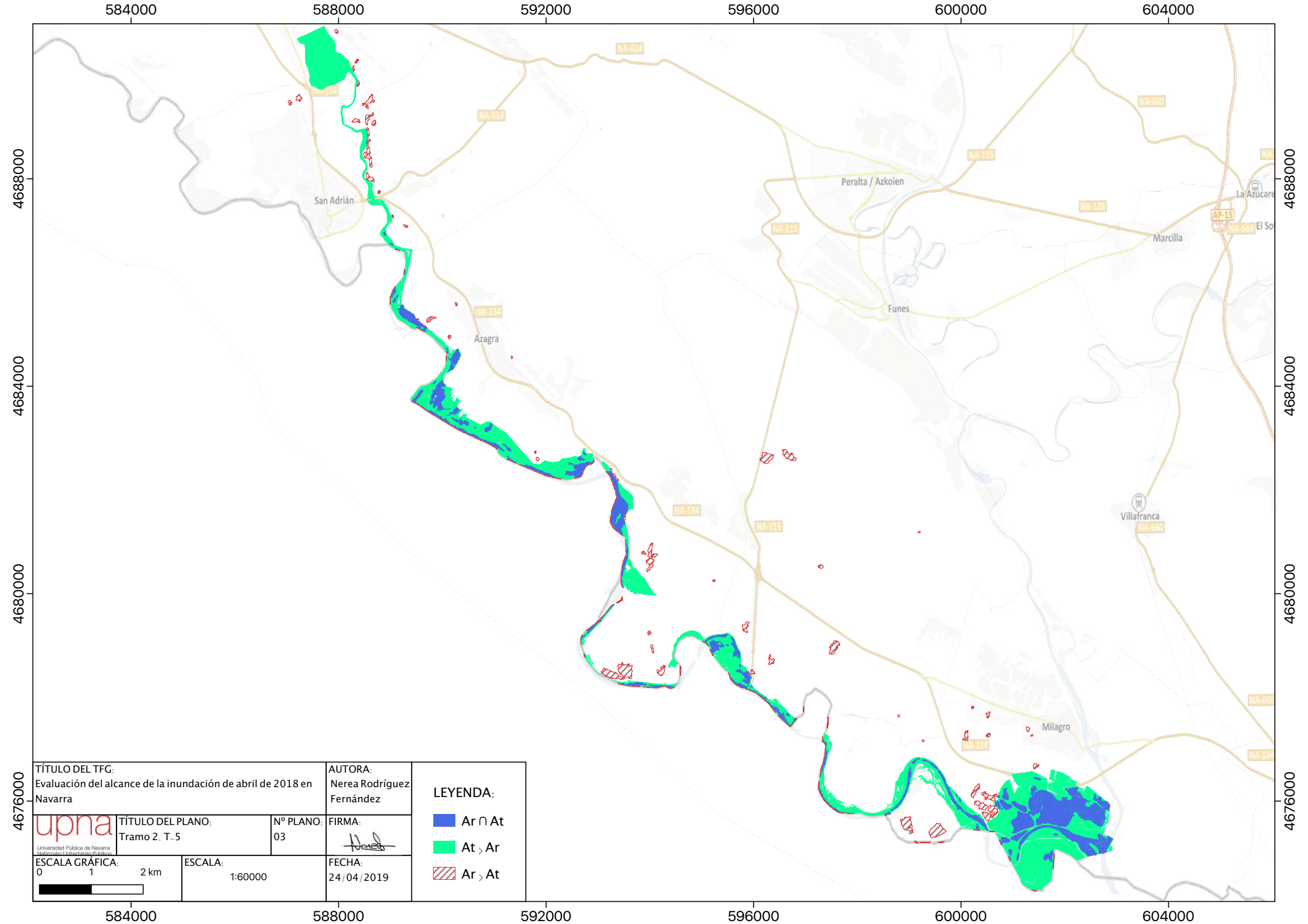




TÍTULO DEL TFG: Evaluación del alcance de la inundación de abril de 2018 en Navarra.		AUTORA: Nerea Rodríguez Fernández	
upna Universidad Pública de Navarra Servicio de Estudios e Investigación	TÍTULO DEL PLANO: Tramo 1. T. 2.33	FIRMA: 	
	Nº PLANO: 02	FECHA: 24/04/2019	
ESCALA GRÁFICA: 0 1 2 km		ESCALA: 1:50000	

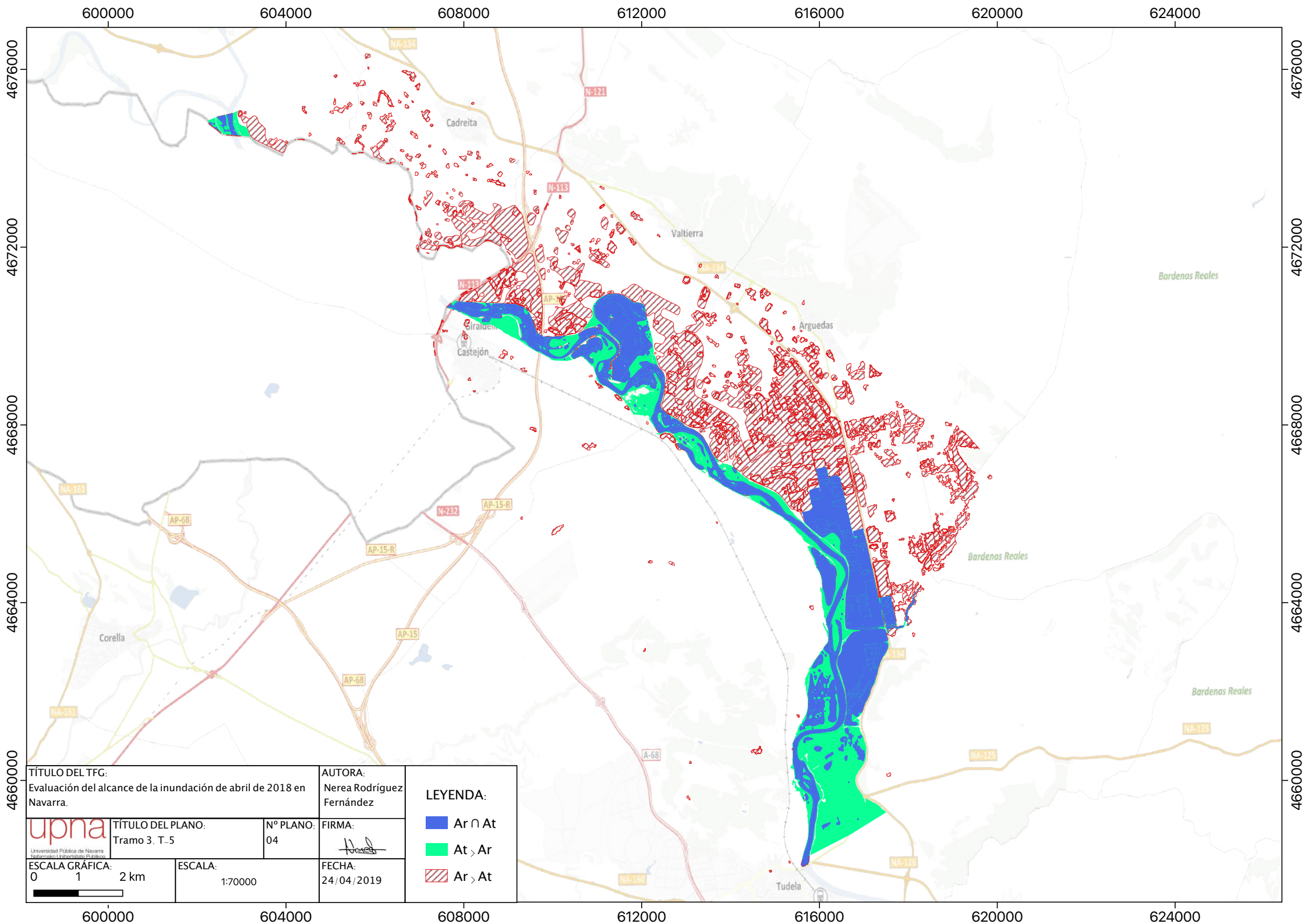
LEYENDA:

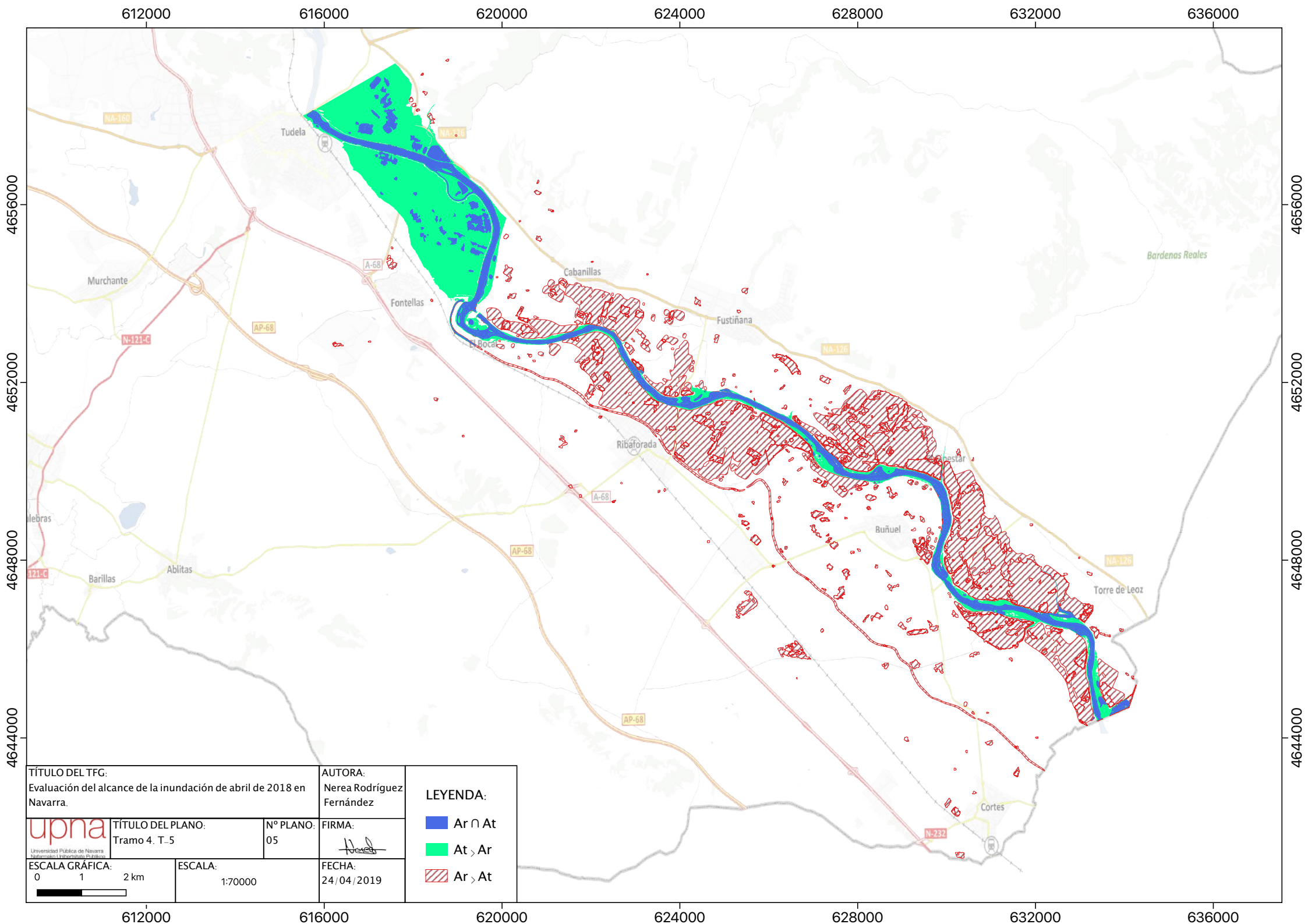
- $Ar \cap At$
- $At > Ar$
- ▨ $Ar > At$




TÍTULO DEL TFG: Evaluación del alcance de la inundación de abril de 2018 en Navarra		AUTORA: Nerea Rodríguez Fernández	
TÍTULO DEL PLANO: Tramo 2. T-5		Nº PLANO: 03	
FIRMA: 		FECHA: 24/04/2019	
ESCALA GRÁFICA: 0 1 2 km 		ESCALA: 1:60000	


- LEYENDA:
- $Ar \cap At$
 - $At > Ar$
 - $Ar > At$





TÍTULO DEL TFG: Evaluación del alcance de la inundación de abril de 2018 en Navarra.		AUTORA: Nerea Rodríguez Fernández	
 <small>Universidad Pública de Navarra Universidad del País Vasco</small>	TÍTULO DEL PLANO: Tramo 4. T_5	Nº PLANO: 05	FIRMA: 
	ESCALA GRÁFICA: 0 1 2 km 	ESCALA: 1:70000	FECHA: 24/04/2019

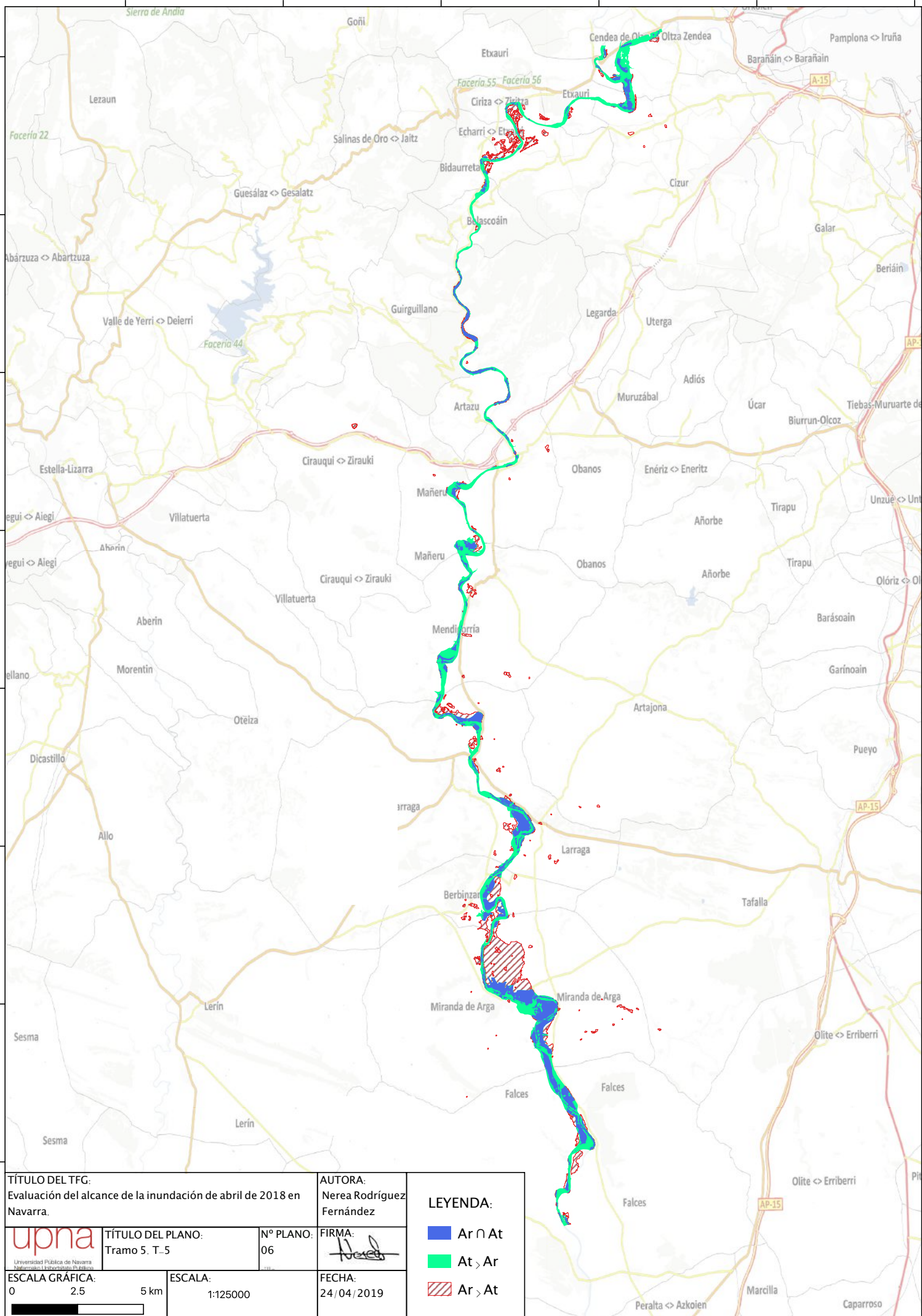
LEYENDA:

-  Ar < At
-  At > Ar
-  Ar > At

582000 588000 594000 600000 606000 612000

4740000
4734000
4728000
4722000
4716000
4710000
4704000
4698000

4740000
4734000
4728000
4722000
4716000
4710000
4704000
4698000



TÍTULO DEL TFG:
Evaluación del alcance de la inundación de abril de 2018 en Navarra.

AUTORA:
Nerea Rodríguez Fernández

LEYENDA:

- $Ar < At$
- $At > Ar$
- $Ar > At$

upna
Universidad Pública de Navarra
Universitat Pública de Navarra

TÍTULO DEL PLANO:
Tramo 5. T-5

Nº PLANO:
06

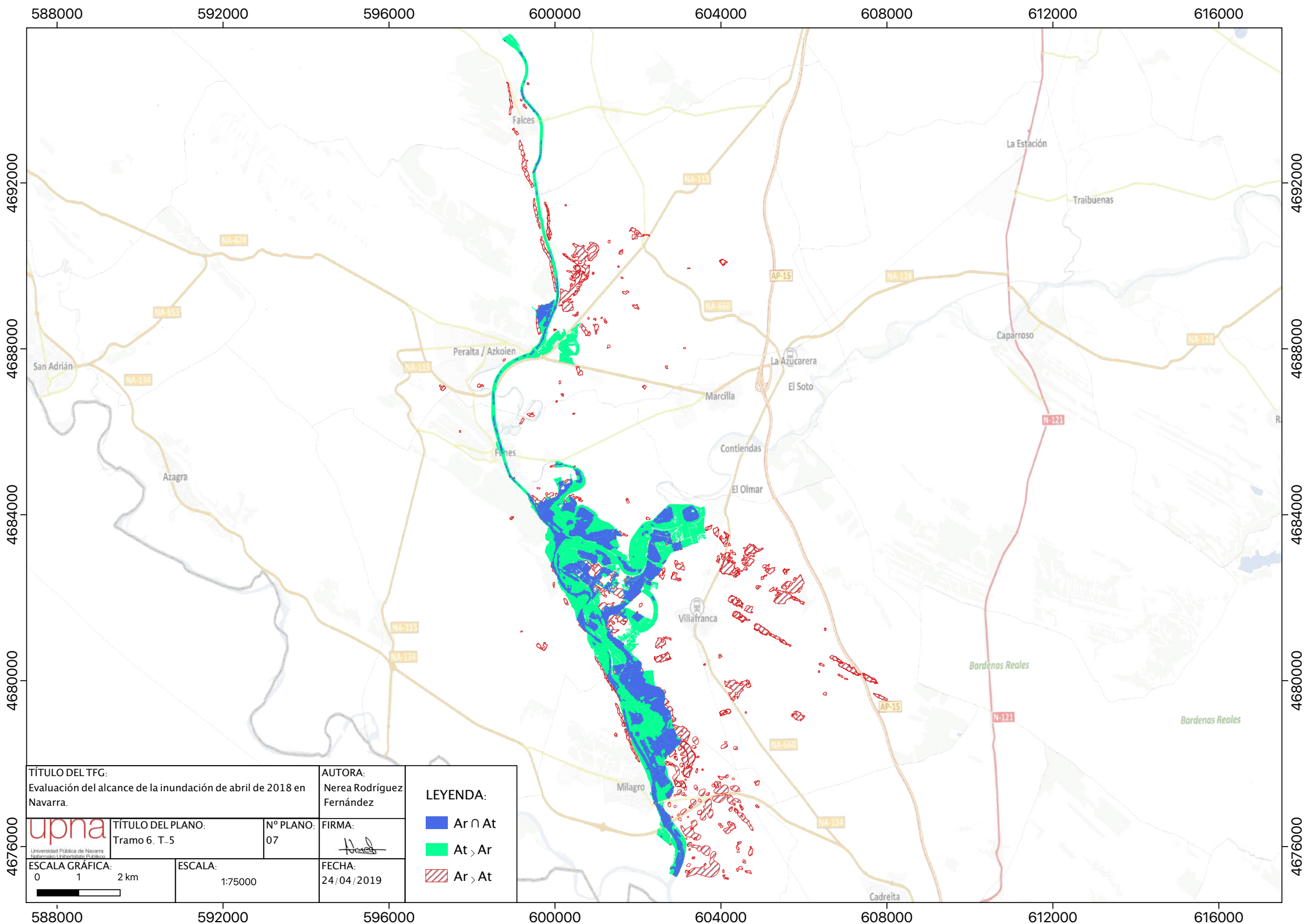
FIRMA:

ESCALA GRÁFICA:
0 2.5 5 km

ESCALA:
1:125000

FECHA:
24/04/2019

582000 588000 594000 600000 606000 612000



TÍTULO DEL TFG:
Evaluación del alcance de la inundación de abril de 2018 en Navarra.

AUTORA:
Nerea Rodríguez
Fernández



TÍTULO DEL PLANO:
Tramo 6. T-5

Nº PLANO:
07

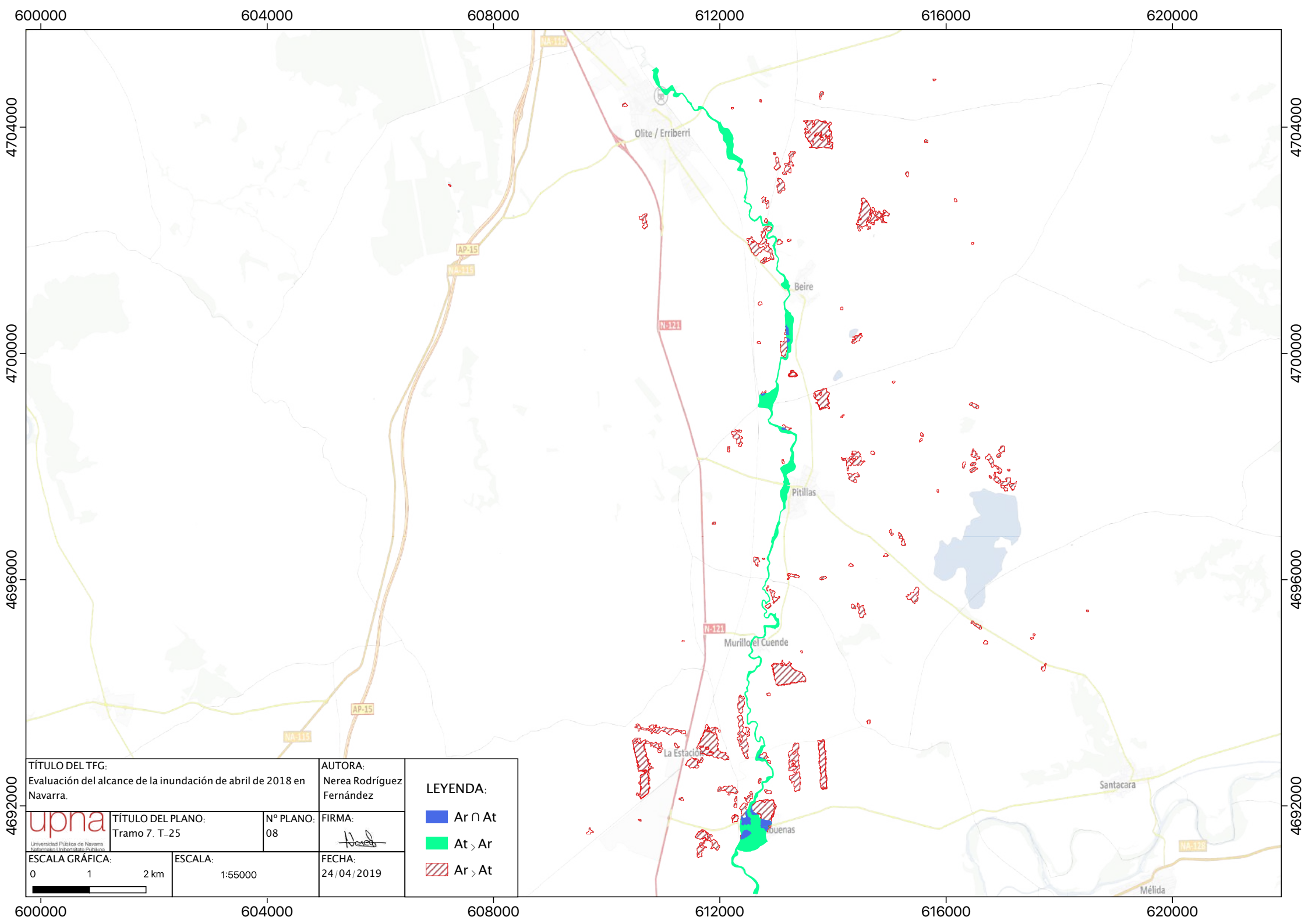
FIRMA:

ESCALA GRÁFICA:
0 1 2 km

ESCALA:
1:75000

FECHA:
24/04/2019

LEYENDA:
Ar \cap At
At \supset Ar
Ar \supset At



TÍTULO DEL TFG:
Evaluación del alcance de la inundación de abril de 2018 en Navarra.

AUTORA:
Nerea Rodríguez
Fernández

upna
Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitatea / Université de Navarre

TÍTULO DEL PLANO:
Tramo 7. T-25

Nº PLANO:
08

FIRMA:

ESCALA GRÁFICA:
0 1 2 km

ESCALA:
1:55000

FECHA:
24/04/2019

LEYENDA:

$Ar \cap At$

$At > Ar$

$Ar > At$

